

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

SLIV IZVORA STUDENA U ŽUMBERAČKOM GORJU

Diplomski rad

Zdenko Kordić

Zagreb, 2017.

SLIV IZVORA STUDENA U ŽUMBERAČKOM GORJU
ZDENKO KORDIĆ

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Izvor Studena nalazi se u blizini izvora Kupčine. U okviru ovog rada procijenjena je površina sliva izvora Studena temeljem hidrogeološke prospekcije terena, prilikom koje su i izmjereni protoci na ponorima u slivu koji su u prosjeku manji od 1 l/s i izdašnosti izvora Studena baznog toka oko 20 l/s. Uzeti su uzorci vode radi određivanja kemijskog sastava na temelju kojeg je određen hidrogenkarbonatni facijes Ca tipa. Na temelju svih dobivenih podataka određena je površina sliva od 5,4 km², te su svi prikupljeni podaci uneseni u prostornu bazu podataka.

Ključne riječi: izvor Studena, sliv, ponori, krški vodonosnik, kredni fliš, mjerenje protoka

Završni rad sadrži: 59 stranica, 16 tablica, 24 slike i 43 reference

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta,
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Doc. dr.sc. Jelena Parlov
Pomoć u laboratoriju: Zoran Kovač, znanstveni novak

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Jelena Parlov
Doc. dr. sc. Željko Duić
Prof. dr. sc. Andrea Bačani

Datum obrane: 17.2.2017.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

STUDENA BASIN IN THE ŽUMBERAK MOUNTAINS
ZDENKO KORDIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The Studena spring is located near Kupčina springs. In this thesis, the area of the Studena spring basin has been determined during hydrogeological field research. In the course of the same investigation, spring flows were measured at abysses (on average less than 1 l/s) and at the Studena spring, where the base flow is about 20 l/s. Water samples were collected for the determination of their chemical composition and based on that, the Ca type of hydrogencarbonate facies was determined. Based on the obtained data, the basin area was determined as 5.4 km² and all collected data was input into the data base.

Keywords: the Studena spring, basin, sinkholes, karst aquifer, cretaceous flysch, flow measurement

Thesis contains: 59 pages, 16 tables, 24 figures, 43 references.

Original in: Croatian.

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Assistant Professor Jelena Parlov, PhD
Assistance in laboratory: Zoran Kovač, MSc

Reviewers: Assistant Professor Jelena Parlov, PhD
Full Professor Andrea Bačani, PhD
Assistant Professor Željko Duić, PhD

Date of defense: February 17, 2017

Sadržaj:

1. UVOD	1
2. GEOGRAFSKA, KLIMATSKA I GEOLOŠKA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA	2
2.1. GEOGRAFSKE I GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE.....	2
2.2. KLIMATSKA OBILJEŽJA.....	4
2.3. GEOLOGIJA PODRUČJA.....	5
2.4. STRUKTURNA GRAĐA I TEKTONIKA	10
2.5. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE	13
3. ZNAČAJKE SLIVA IZVORA STUDENA.....	15
3.1. SLIV.....	15
3.2. KRŠKI VODONOSNIK.....	16
3.2.1. KRŠKI IZVORI.....	18
3.2.2. VODOTOCI	20
3.3. VODNA BILANCA	21
4. TERENSKA ISTRAŽIVANJA	23
4.1. MJERENJE PROTOKA	23
4.1.1. ODABIR MJESTA ZA MJERENJE PROTOKA.....	23
4.1.2. MJERENJE BRZINA TOKA.....	24
4.1.3. METODA BRZINA – POVRŠINA	26
4.2. IN SITU MJERENJA I UZORKOVANJE VODE.....	28
4.3. GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA	29

5.	ANALIZA VODE U LABORATORIJU	30
5.1.	PH	30
5.2.	ELEKTROVODLJIVOST	31
5.3.	ODREĐIVANJE ALKALITETA VODE	31
5.4.	IONSKI KROMATOGRAF	35
6.	REZULTATI TERENSKIH OPAŽANJA	37
6.1.	GEOMORFOLOGIJA PROSTORA	37
6.2.	GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA	39
6.3.	HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA	42
6.4.	IN-SITU MJERENJA I UZORKOVANJE VODE	43
6.5.	MJERENJE PROTOKA	45
7.	LABORATORIJSKI REZULTATI	49
7.1.	PH	49
7.2.	ELEKTROVODLJIVOST	49
7.3.	ALKALITET VODE	50
7.4.	IONSKA KROMATOGRAFIJA	51
7.5.	HIDROGEOKEMIJSKI SASTAV VODE	52
8.	PROCJENA VODNE BILANCE SLIVA	55
9.	ZAKLJUČAK	58
10.	LITERATURA	60

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Smještaj područja istraživanja (sliv izvora Studena)	3
Slika 2.2. Dnevne i mjesečne oborine na klimatskoj postaji Sošice u 2016. godini, te prosječne mjesečne za razdoblje 2010. – 2016. (prema podacima DHMZ-a)	5
Slika 2.3. Isječak OGK, list Novo Mesto za područje istraživanja (PLENIČAR et al., 1975). <i>Rozo: T_{2+3} – gornjotrijaski dolomit; plavo: J_{1+2} – svijetlosiv pločasti dolomit, J_3 – svijetlosiv pločasti vapnenac s kalpionelama, $J_3^{1,2}$ – pločasti vapnenac s oolitima i grebenski vapnenac; zeleno: K_2 – crvenkasti lapor, pješćani lapor, laporoviti vapnenac i pločasti vapnenac s rožnjakom, uz leće vapnenačkih breča (označeno trokutima), K_2^2 – svijetlo siv vapnenac u izmjeni s brečom</i>	6
Slika 2.4. Shematski geološki profil istraživanog područja (na karti označen AB)(prema OGK Novo Mesto, Pleničar et al., 1975)	6
Slika 2.5. Tektonska karta jugozapadnog Žumberka s naznačenim područjem istraživanja (prema Prtoljan, 2001): 1. Kvartar; 2. Neogen; 3. Gornja kreda - mastriht; 4. Donja i gornja kreda (otriv – cenoman); 5. Jura; 6. Prebačene gornjotrijaske naslage kod Duralija; 7. Gornji trijas; 8. Srednji trijas; 9. Donji trijas; 10. Čelo navlake; 11. Rasjed s horizontalnim lijevim pomakom; 12. Reversni rasjed; 13. Normalni rasjed; 14. Rasjed s označenim nagibom rasjedne plohe; 15. Pretpostavljeni rasjed; 16. Normalna i prebačena os b; 17. Normalna i transgresivna granica; 18. Normalni i prebačeni slojevi. Legenda za preglednu kartu: Ž – Žumberak; UD – unutrašnji dinaridi; JSN – julijsko-savinjska navlaka; SN – savska navlaka, ADCP – jadransko-dinaridska karbonatna platforma; ZZ – Zagreb-Zemlen rasjed; PL – Perijadranski lineament; TS – Tisia	12
Slika 4.1. Glavni dijelovi hidrometrijskog krila	25
Slika 4.2. Brojač impulsa Z6	26
Slika 4.3. Digitalni termometar TP 101	28
Slika 5.1. Mjerenje pH metrom pH315i	30
Slika 5.2. Mjerenje elektrovodljivosti uređajem Cond 3110	31

Slika 5.3. Shema rada ionskog kromatografa (modificirano prema Kralj, 2015)	35
Slika 6.1. Geomorfološka karta sliva izvora Studena s prikazom pojave krških oblika	37
Slika 6.2. Vrtače pokraj ponora (a) i u krednim vapnencima (b)	38
Slika 6.3. Speleološki oblici na području istraživanja: a) špilja, b) jama.....	38
Slika 6.4. Tankoslojevite laporovite naslage krednog fliša (a) i leća breče u istim naslagama (b)	39
Slika 6.5. Vapnenačko kršje u: a) laporovitom matriksu s uloškom tankolaminiranog lapora i b) u glinovito – vapnenačkom matriksu i glinoviti vapnenac	40
Slika 6.6. Kontakt breče i deblje uslojenih krednih vapnenaca (a) i deblje uslojeni kredni vapnenac	40
Slika 6.7. Geološka karta sliva: K_2 (zeleno) – kredni fliš, K_2 (zeleno sa šrafurom) – kredni vapnenac, T_3 (rozo) – trijaski glavni dolomit	41
Slika 6.8. Hidrogeološka karta sliva izvora Studena	42
Slika 6.9. Profili mjerenja izdašnosti izvora Studena: a) prva lokacija mjerenja i profil P1 (strelica); b) druga lokacija mjerenja i profil P2 (metar)	45
Slika 6.10. Profil mjerenja protoka izvora Studena P1	45
Slika 6.11. Profil mjerenja P2.....	46
Slika 7.1. Postupak titracije	50
Slika 7.2. Prikaz rezultata kemijske analize na Piperovom dijagramu.....	53

POPIS TABLICA

Tablica 4.1. Proračun srednje brzine u okomici hidrometrijskog profila (Žugaj, 2000.)....	24
Tablica 5.1. Odnos utrošaka 0,1 M HCl za titraciju hidroksida, karbonata i hidrogenkarbonata u 100 ml vode u ovisnosti o odnosu p i m vrijednosti (Pustaj & Kapor, 2015.).....	33

Tablica 6.1. Oznake lokacija mjerenja i uzorkovanja prikazane na Slici 6.8.....	43
Tablica 6.2. Rezultati mjerenja temperature vode	44
Tablica 6.3. Izračun količine protoka metodom brzina – površina izvora Studena na P1 sa tri mjerenja u vertikali	46
Tablica 6.4. Izračun količine protoka metodom brzina - površina na profilu P2 sa 3 mjerenja u vertikali	47
Tablica 6.5. Izračun protoka na profilu P2 metodom brzina – površina s jednim mjerenjem u vertikali (0,6 d)	47
Tablica 6.6. Protoci na potocima u slivu	48
Tablica 7.1. Izmjerene pH vrijednosti	49
Tablica 7.2 Vrijednosti elektrovodljivosti izmjerene na uzorcima u laboratoriju	49
Tablica 7.3. Utrošak HCl-a na 100 ml uzorka.	50
Tablica 7.4. Koncentracija hidrogenkarbonata (HCO_3^-) u uzorcima u mg/l	51
Tablica 7.5. Rezultati ionske kromatografije	52
Tablica 7.6. Izračun kemijske ravnoteže na temelju dobivenih koncentracija (meq)	52
Tablica 7.7. Klasifikacija vode prema sadržaju magnezija	54
Tablica 8.1. Otjecajni koeficijent sliva izvora Studena ovisno o protoku Q	56
Tablica 8.2. Proračun teoretske površine sliva uz pretpostavljene koeficijente otjecanja i količine istjecanja na izvoru Studena	57

1. UVOD

Krški vodonosnici posjeduju cijeli niz različitih specifičnih svojstava te ih je za detaljan opis potrebno pomno proučiti primjenjujući različite istraživačke metode. U svrhu izrade ovog rada istraženo je područje sliva izvora Studena veličine oko 6 km² u jugozapadnom dijelu Žumberačkog gorja, a koje se nalazi oko 2 km južnije od naselja Sošice te se proteže do samog izvora Studena koji se nalazi oko 3,5 km jugoistočnije. Žumberačko gorje nalazi se u zapadnom djelu Hrvatske, 50 km jugozapadno od grada Zagreba. Ovaj brdsko-planinski prostor izgrađen je pretežno od vapnenačkih stijena, a karakteriziraju ga brojne krške pojave. Tako se na tom prostoru pojavljuju brojni krški izvori, ponori, vrtače i ostali speleološki objekti. Istražene su geološke osobine područja te vodotoci područja, uključujući kartiranje izvora, ponora, mjerenje protoka i uzorkovanje vode za potrebe određivanja hidrogeokemijskog facijesa. Na temelju terenskih rezultata kreirane su različite tematske karte, a provedenim kemijskim analizama vode pokušala se dobiti veza između površinske vode koja se pojavljuje unutar sliva i ponire sa glavnim mjestom istjecanja iz sliva, izvorom Studena. Na temelju svih rezultata istraživanja detaljnije je opisan sliv i pripadni vodonosnik.

2. GEOGRAFSKA, KLIMATSKA I GEOLOŠKA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

2.1. GEOGRAFSKE I GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE

Područje Žumberačkog gorja nalazi se na zapadnom djelu Hrvatske, 50-tak kilometara jugozapadno od grada Zagreba (Slika 2.1). Ovo područje je najviša gorska struktura peripanonskog dijela Hrvatske, s najvišim vrhom Sveta Gera (1178 m n.m.). Na Žumberačko gorje sjevernije nadovezuje se Samoborsko gorje. Granica između Samoborskog gorja i Žumberka slijedi tokove rječica Bregane i Žumberačke rijeke. Nazivi "gorje" u oba slučaja ukazuju na činjenicu da prostori nisu homogeni i sastavljeni od jednog, već od niza različito orijentiranih gorskih blokova (Buzjak, 2006).

U Žumberku se izdvajaju raščlanjene visoravni s uzvišenjima koje se postupno spuštaju prema jugoistoku. Najviši među uzvišenjima je gorski hrbat Sv. Gere izdužen smjerom SI - JZ. Osim vrha Sv. Gera, preko 1000 m nadmorske visine uzdiže se još samo hrbat s najvišim vrhom Ravnom gorom (1001 m n.m.). Brojne su zatvorene okršene depresije (ponikve, uvale i slijepe doline). Ističu se doline rječica Kupčine, Slapnice i Sušice koje odvodnjavaju veći dio središnjeg i zapadnog Žumberka.

Prostor Žumberka i Samoborskog gorja orografski i morfogenetski jasno je odijeljen od susjednih regija Krške zavale na sjeverozapadu i sjeveru, doline Save i Samoborske zavale na sjeveroistoku, zavale Crne Mlake na jugoistoku i Ozaljskog pobrđa na jugu i jugozapadu (Bognar, 2001). Na nižoj razini unutar nje izdvajaju se dvije subgeomorfološke regije: Gorski masiv Žumberačke gore i Jugoistočna predgorska stepenica. Unutar subgeomorfološke regije Gorskog masiva Žumberačke gore mogu se izdvojiti mikrogeomorfološke regije: Gorski hrbat Sv. Gere, Visoravan Žumberka s dolinom Kupčine, Samoborsko gorje i Gorski hrbat Plješivice (Dujmović, 1994).



Slika 1.1. Smještaj područja istraživanja (sliv izvora Studena)

Kako u sastavu i građi terena prevladavaju karbonatne naslage (dolomiti i vapnenci), njihova rasprostranjenost uvjetovala je prevlast krškog i fluviokrškog reljefa. Na fluviokrškim i u nešto manjoj mjeri krškim područjima Žumberačke gore te tamo gdje teren izgrađuju nekarbonatne naslage dominantni padinski procesi su spiranje, jaružanje i klizanje. Proces spiranja i jaružanja posebno su izraženi u područjima građenim od dolomita te u području pokrivenog krša zapadnog i jugozapadnog Žumberka. U dijelovima s krškim reljefom javljaju se tamo gdje je matična stijena pokrivena debljim slojem tla.

Od fluvijalnih i fluviodenudacijskih procesa i oblika, doline su vrlo čest reljefni oblik na području Žumberka. Velik dio ih je tektonski predisponiran i duboko usječen duž zona gdje su stijene razlomljene i podložnije mehaničkom trošenju, uglavnom su izrazitog „V“ presjeka.

Buzjak (2006) u granicama Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“ određuje 2869 vrtača koje su izrazito neravnomjerno prostorno raspoređene. Izračunao je najveću gustoću od 80 - 85 vrtača/km² u području između Rajića, potoka Jarak i doline Slapnice gdje je gornjotrijaski glavni dolomit u kontaktu s karbonatima donje i srednje jure. Gustoćom ponikvi slijedi krška zaravan južno od Tisovca s 75 - 80 vrtača/km² u trijaskim dolomitima.

Povećana gustoća ponikvi nekog terena upućuje na veću razlomljenost i okršenost što ukazuje na smjerove cirkulacije podzemne vode. Ponikve su uglavnom tanjuraste i ljevkaste, korozijskog postanka. Veće reljefne forme su uvale, aktivne i suhe slijepe doline, suhe doline, i zavale. Jedna od najvećih zavala na ovom prostoru je „Sošičko polje“.

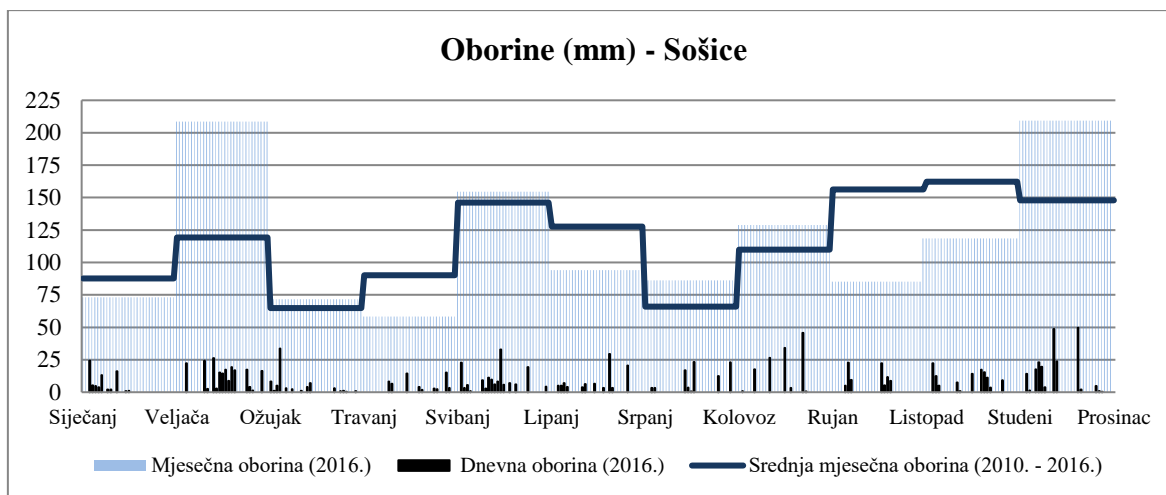
2.2. KLIMATSKA OBILJEŽJA

Područje Žumberka spada u pojas umjerene kontinentalne klime. Ovdje prevladava umjereno topla vlažna klima. Zbog dinarske pregrade na jugozapadu (područje Gorskog kotara) otklonjen je izravan utjecaj mora, a otvorenost Panonskoj ravnici pojačava kontinentalna obilježja.

Ljeta su topla, u najnižim, rubnim dijelovima i vruća. Prosječna godišnja temperatura je od 11°C u najnižim dijelovima do 6°C na hrptu Svete Gere. Prosječna temperatura za srpanj iznosi oko 22°C na istočnim rubnim područjima do 18°C u najvišim zonama. Zime su oštre i hladne sa snijegom, ali i toplijim razdobljima za vrijeme inverzije za stabilnih zimskih anticiklona. Prosječne zimske temperature također su sve niže od nižih dijelova prema vrhu, i to u rasponu od -1°C do -3°C. Oborine su podjednako raspoređene kroz godinu ili uz blago kišoviti topli dio godine. Iako je od izravnog maritimnog utjecaja zaštićen dinarskom pregradom, more je ipak glavni generator oborina ovog područja. Prosječna količina oborina iznosi od 1200 mm na rubnim istočnim i južnim dijelovima pa sve do gotovo 1700 mm oborina na najvišem hrptu (prema Zaninović et al., 2008.)

Od DHMZ-a su dobiveni podaci klimatološke postaje Sošice smještene nedaleko od sliva za razdoblje 2010. – 2016. godine.

Prema podacima, prosječna godišnja temperatura u razdoblju 2010. – 2016. godine iznosi 8,6°C s tim da treba napomenuti kako za nekoliko mjeseci nedostaju podaci. Također, prosječna temperatura u 2016. godini (8,9°C) približno odgovara prosjeku ranijih godina (2010. – 2015.) Mjerenje oborina u razdoblju 2010. – 2015. godine pokazuje da je na tom području u prosjeku godišnje palo oko 1340 mm oborine. Oborine za 2016. godinu po danima, te srednje mjesečne vrijednosti za razdoblje obuhvaćeno podacima prikazane su na slici 2.2.

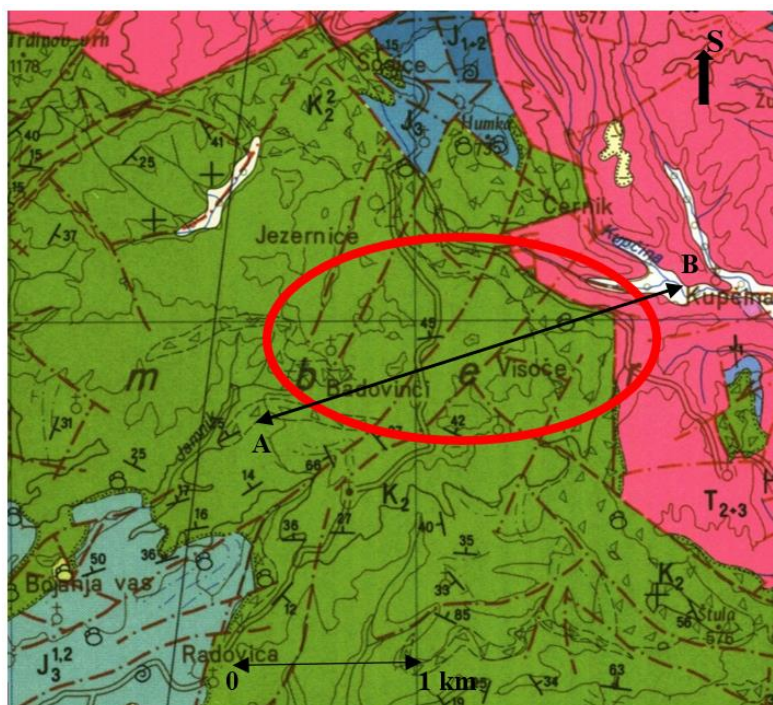


Slika 2.2. Dnevne i mjesečne oborine na klimatskoj postaji Sošice u 2016. godini, te prosječne mjesečne za razdoblje 2010. – 2016. (prema podacima DHMZ-a)

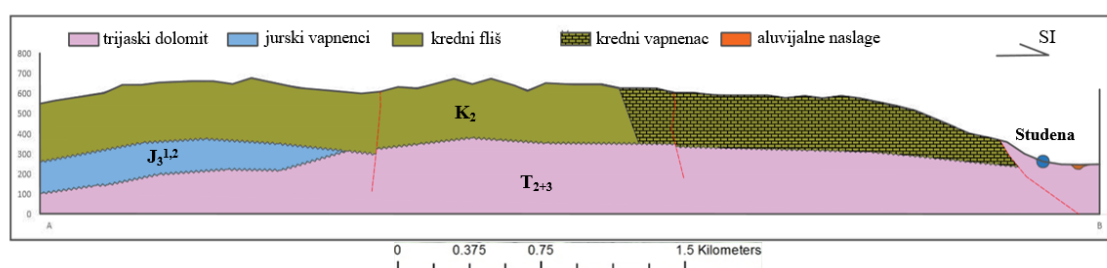
2.3. GEOLOGIJA PODRUČJA

Područje Žumberačkog gorja karakterizirano je vrlo složenom geološkom građom. Taj je prostor kroz geološku prošlost bio izložen dinamičnim geotektonskim kretanjima koji su uzrokovali pojavu različitih taložnih okoliša i njihovu čestu promjenu, kako u vremenu tako i u prostoru. Uslijed toga, nastajale su stijene različitog petrografskog sastava i litoloških karakteristika. Aktivna tektonika dodatno je zakomplicirala strukturni sklop i geološku građu područja.

Prikaz naslaga na istraživanom području dan je prvenstveno prema Osnovnoj geološkoj karti mjerila 1:100.000 list Novo Mesto (Pleničar et al., 1975) i pripadnim tumačem (Pleničar & Premru, 1977). Isječak karte kao i shematski geološki profil kreiran u programu AutoCAD 2016. na temelju OGK prikazani su na Slikama 2.3. i 2.4.



Slika 2.3. Isječak OGK, list Novo Mesto za područje istraživanja (PLENIČAR et al., 1975). Rožo: T_{2+3} – gornjotrijaski dolomit; plavo: J_{1+2} – svijetlosiv pločasti dolomit, J_3 – svijetlosiv pločasti vapnenac s kalpionelama, $J_3^{1,2}$ – pločasti vapnenac s oolitima i grebensi vapnenac; zeleno: K_2 – crvenkasti lapor, pješčani lapor, laporoviti vapnenac i pločasti vapnenac s rožnjakom, uz leće vapnenačkih breča (označeno trokutima), K_2^2 – svijetlo siv vapnenac u izmjeni s brečom



Slika 2.4. Shematski geološki profil istraživanog područja (na karti označen AB)(prema OGK Novo Mesto, Pleničar et al., 1975)

Najstarije naslage na području Žumberka pripadaju paleozojskim naslagama, dok su unutar područja istraživanja najstarije i najrasprostranjenije mezozojske naslage, osobito trijaske starosti. Litološki prevladavaju karbonatne stijene (vapnenci i dolomiti).

Srednji trijas (T_2) – naslage srednjeg trijasa izdvojene su na širem području Strmac – Svrževo – dolina Kupčine – potok Drenovac – Slavetić-Goljak. Radi se o svijetlosivim i sivim, pretežno gromadastim vapnencima, dolomitiziranim vapnencima i dolomitima. Naslage ladinčke starosti su izdvojene na području Gregurić Brega. Njihov sastav varira od cefalopodnih crvenih i sivih vapnenaca, vapnenačko – laporovitih naslaga, tamnih uslojenih vapnenaca s glinovitim ulošcima, šejlovi i piroklastiti. U njima je pronađena bogata zajednica amonita (Salopek, 1912). Naslage srednjeg trijasa na području Kostanjevca i kanjona potoka Slapnica su detaljno obrađene novijim litostratigrafskim istraživanjima (Bukovac et al, 1995). U njihovoj građi najzastupljeniji su ranodijagenetski dolomiti neformalnog naziva „Ruškovlje formacija“ debljine oko 590 metara. Unutar njih su izdvojena dva litostratigrafska člana predstavljena klastitima: naslage crvenih lapora („Berdiki član“) u donjem anizičkom dijelu, te serija siltita, lapora, piroklastita i rožnjaka s vršnim dijelom od silificiranih vapnenaca i pločastih sivih vapnenaca s pojavom rožnjaka u ladinčkom dijelu („Kolići član“).

Gornji trijas (T_3) – Stijene uglavnom izgrađene od dolomita, a taložene su u kontinuiranom i postupnom slijedu na sedimentima ladinika, te je granica najčešće tek približno locirana. Zbog otežanog odvajanja dolomita srednjeg od dolomita gornjeg trijasa, postoji mogućnost da manji dio naslaga svrstanih u gornji trijas pripada ladiniku, odnosno srednjem trijasu. To posebno vrijedi za zapadni Žumberak obuhvaćen listom Novo Mesto Osnovne geološke karte. Na tu mogućnost upućuju sami autori karte (Pleničar et al., 1975) i tumača (Pleničar & Premru, 1977) koji su na ovom području odredili kontinuirani razvoj dolomita srednjeg i gornjeg trijasa i označili ih jedinstvenom oznakom T_{2+3} kojom su označeni na isječku karte (slika 2.2).

U starijem dijelu dolomitne serije, svijetlosive do tamnosive boje, nalazi se nekoliko metara debela zona s proslojcima tamnosivih do crnih šejlova. Dolomiti se uglavnom odlikuju izraženom laminacijom algalnog tipa. Dominantno se nalazi stromatolitni tip dolomita, a u izmjeni podređeno ima i homogenih mozaičnih dolomita ili zrnastih dolomita. U najvišem

dijelu gornjotrijaskih naslaga nalazi se izmjena dolomita, sivih vapnenaca i dolomitiziranih vapnenaca. Ovaj razvoj se najljepše prati u području Vidovići – Šimraki – Tisovac.

Novijim litostratigrafskim istraživanjima na području Kostanjevca i Slapnice, naslage gornjeg trijasa su podijeljene na neformalne formacije: Slapnica (s članovima Vranjak i Drenovac) debljine 340 metara, Glavni dolomit (s članom Kalje) debljine 960 metara i Posinak debljine 270 metara. Ukupna debljina gornjotrijaskih naslaga procijenjena je na 1570 metara debljine.

Karnička formacija Slapnica predstavljena je dobro uslojenim ranodijagenetskim dolomitima s ritmičnom izmjenom dolomikrita, fenestralnog dolomita i stromatolita. U donjem dijelu te formacije izdvojen je član Vranjak kojeg čine dolomiti s proslojcima šejla, dok je u gornjem dijelu iste formacije izdvojen član Drenovac. Njega čine ravno i valovito uslojeni tamni ranodijagenetski dolomiti s visokim udjelom kerogena, proslojcima kerogenskog šejla i pojavama ugljena.

Na formaciju Slapnica slijedi norička formacija Glavni dolomit. To su ranodijagenetski dolomiti s bočnom i vertikalnom izmjenom dolomikrita, fenestralnih dolomikrita, finolaminiranih stromatolita te stilolitskim slojnim plohama. U gornjem dijelu formacije uočavaju se intraformacijske breče tj. član Kalje. Retska formacija Posinak je sastavljena od dobro uslojenih ranodijagenetskih dolomita, a podređeno dolomitičnih vapnenaca i vapnenaca.

Donja i srednja jura (J_{1+2}) – Naslage donjeg i srednjeg lijasa su zastupljene plitkovodnim karbonatnim sedimentima. Nalazimo ih na većem broju lokaliteta kod Sošica, pa dalje prema zapadu sjeverno od Tomaševaca, kod Mrzlog Polja, Rajića i Vidovića, Novog Sela Žumberačkog i Osunje, te kod Koretića i Noršić Sela. Idući od zapada prema istoku primjećuje se isklinjavanje naslaga. Tako su na području Stići – Rajići – Dane – Šimraki naslage debele oko 150 metara, a sjeveroistočno na lokalitetima Gornja Pirošica, Izviri i Plešivica kod Noršić Sela svega nekoliko metara.

Najstariji dio lijasa čine dobro uslojeni dolomiti, dolomitični vapnenci i vapnenci s rijetkim foraminiferama. Kroz srednji lijas je i dalje izražena plitkovodna sedimentacija, pa se karbonatna serija sastoji od izmjene kalkarenita, biokalkarenita, oolitskih kalkarenita, biomikrita i mikrita s bogatom asocijacijom mikrofosila. Česta je dolomitizacija vapnenca.

Početkom gornjeg lijasa nastupilo je razbijanje trijasko – lijaske karbonatne platforme i formiranje dubljeg bazenskog prostora. U početku se talože dolomiti i oolitični vapnenci unutar kojih se zapaža silifikacija i pojava radiolarijskih rožnjaka, a nakon toga slijede pelagički sedimenti (mikriti, biomikriti i rožnjaci). Zonalno se javljaju intrabazenske karbonatne breče (doger) iznad kojih slijede vapnenci i silificirani vapnenci s rožnjacima.

Gornja jura (J₃) – Nastavlja se sedimentacija vapnenaca s pelagičkim školjkašima i rožnjacima. Sedimenti malmske starosti izdvojeni su na temelju prve pojave vapnenačkih klastita turbiditnog porijekla unutar kontinuirane pelagičke serije. Zastupljeni su litokalkareniti, rjeđe vapnenačke breče u izmjeni s pelagičkim slojevima. Sadrže elemente plitkovodne i pelagičke sredine. Plitkovodni detritus je donasan turbiditnim strujama iz plitkovodnih i okopnjelih predjela rubnog dijela karbonatne platforme.

Naslage srednjeg malma (oksford i kimeridž) su izdvojeni oko Radatovića, a čine ih bijeli i sivi vapnenci, oolitni vapnenci i grebenski vapnenci. U gornjem malmu (titon) na cijelom su području istaloženi pelagički sedimenti. To su uglavnom izmjene tankouslojenih pločastih pelagičkih mikrita, biomikrita i rožnjaka, a mjestimice i litokalkarenita turbiditnog porijekla, te tankih proslojaka lapora.

Gornja kreda (K₂) – Naslage gornje krede najzastupljenije su naslage na području Žumberka. Zastupljene su različitim litofacijsnim obilježjima. Prvi prikaz razvoja gornjokrednih naslaga dan je prema području Slapnica – Šipački Breg. U donjem dijelu su bazalne breče i konglomerati, debljine 1 do 3 metra, nastali pretaložavanjem stijena neposredne podloge. Iznad bazalnog dijela slijedi debela serija flišolikih sedimenata smeđesive do tamnosive boje u kojoj prevladavaju kalcitom i glinom bogati lapori, šejlovi i kalkareniti. S njima su u izmjeni tankopločasti vapnenci i rožnjaci, a mjestimice ima i uložaka nesortiranih karbonatnih breča. Fosilni ostaci upućuju na cenomansku starost. Slijed naslaga i lokacije nalazišta upućuju na moguću transgresiju krajem donje krede.

Na zapadnom dijelu Žumberka, debljina vapnenačkih breča mjestimično doseže i 100 metara debljine. Prema OGK list Novo Mesto naslage su u normalnom tektonskom kontaktu s naslagama trijaske starosti. Prema novijim istraživanjima ustanovljeno je da je taj kontakt tektonski (Herak & Bukovac, 1988; Prtoljan, 2001; Cvetković, 2007; Molvarec, 2007; Vrsaljko, 2008). Na brečama slijedi vapnenac u izmjeni s laporom. Na području između sela

Jezernice i Dvorišće Vivodinsko koje je u uskom istraživanom području, izdvojen je pelagički razvoj krede vrlo sličan flišu. Devide-Nedela et al. (1982) su tim naslagama odredili mastrihtsku starost na temelju mikrofosilnih zajednica (Globotruncanidae) i dali im naziv „Vivodinski fliš“. U njegovoj građi karbonati (vapnenci i breče) imaju značajan udio, što je uvjetovalo razvoj krških pojava i na tom području.

Kvartar (Q) – Kvartarne naslage su zastupljene u malom udjelu naspram ostalih naslaga. Najveći udio imaju holocenski potočni nanosi. Nalaze se u dolinama većih potoka, prije svega Blate i Kupčine. Sastoje se uglavnom od šljunka i pijeska, a debljina im je svega nekoliko metara.

Značajno manje je zastupljena crvenica (terra rosa). Zauzima vrlo male površine formirajući površinski pokrivač promjenjive debljine ili zapunjava udubljenja i pukotine u osnovnoj karbonatnoj podlozi. Najmanjeg rasprostiranja je sedra. Nalazi se uglavnom uz sve značajnije vodotokove, ali posebno je dobro vidljiva na Vranjačkom slapu u dolini Slapnice.

2.4. STRUKTURNA GRAĐA I TEKTONIKA

Autori OGK lista Novo Mesto (Pleničar et al., 1975) u interpretaciji koriste isključivo radijalnu (blokovsku) tektoniku s normalnim rasjedima bez navlačenja.

Za razliku od tog pristupa, po konceptu mobilističke tektonike (Herak, 1986, 1991, 1999) na području Žumberka dominira regionalna navlačna tektonika. Prema njemu, zapadni dio Žumberka nalazi se u kontaktnoj zoni Dinarske karbonatne platforme ili Vanjski Dinaridi (Adriaticum i Dinaricum) i Unutrašnjih Dinarida (Supradinaricum ili Najviša navlaka). Upravo u tom dijelu dolazi do podvlačenja Dinarika pod Supradinarik što uvjetuje značajne strukturno tektonske promjene u odnosu na interpretaciju s lista Novo Mesto.

Herak (1986) područje Samoborskog gorja i središnjeg dijela Žumberka do linije Konjarić Vrh – Gornji Oštrc – Sošice i dalje na zapad s vršnim grebenom do Svete Gere smatra dijelom navlake Unutrašnjih Dinarida. Jurske i kredne karbonate prekrivene transgresivnim flišem na zapadnom dijelu Žumberka smatra autohtonim područjem tj. rubnim područjem Vanjskih Dinarida. Pojava krednog fliša i jurskih vapnenaca kod sela Duralije tumači se kao tektonsko okno koje dodatno potvrđuje navlačne odnose (Herak & Bukovac, 1988).

Pamić & Tomljenović (1998) strukturno smatraju ovo graničnim područjem prijelaza Unutrašnjih Dinarida u Zagorsko – srednjetransdanubijsku smičnu zonu koja je navučena na Vanjske Dinaride. Drugi autori istu navlaku smatraju Savskom navlakom koja je kao dio Zagorsko – srednjetransdanubijske zone navučena na Vanjske Dinaride (Mioč & Pamić, 2002; Prtoljan, 2001) (Slika 2.5.).

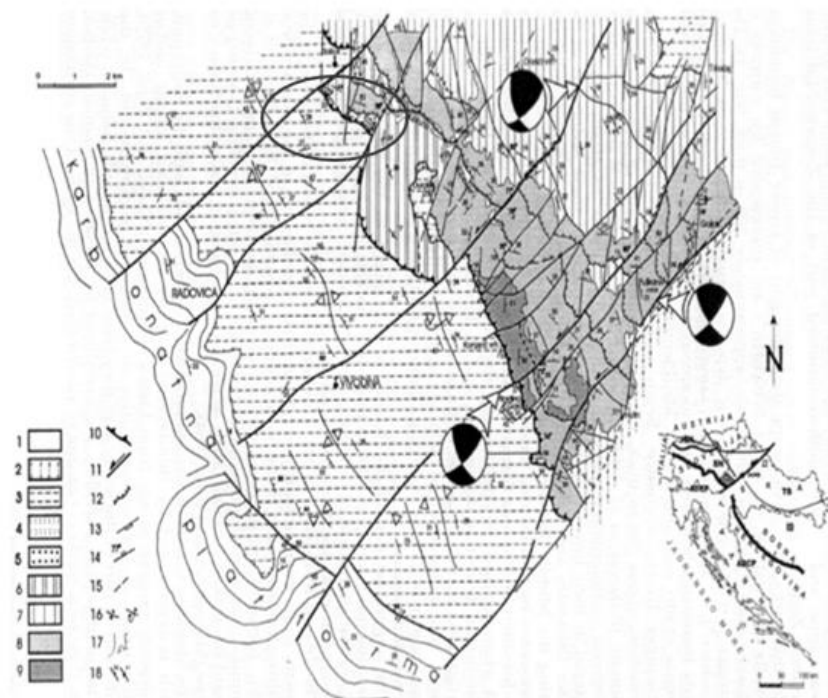
Šikić & Prelogović (1970) su na području Žumberačke gore izdvojili tri dominantna seta rasjeda:

- a) Set pružanja sjeverozapad – jugoistok, koji je dominantni set na području Žumberka.
- b) Set pružanja sjeveroistok – jugozapad.
- c) Set pružanja sjever – jug.

Rasjedi pružanja sjeverozapad – jugoistok su većinom reversnog pomaka. Upravo po takvim rasjedima su većinom gornjotrijaski dolomiti dovedeni strukturno iznad gornjokrednih naslaga (Prtoljan, 2001) (Slika 2.5.). Pružanje tih rasjeda je paralelno s dinarskim pružanjem i kinematski korelativnim rasjedima tipičnim za područje Vanjskih Dinarida. Obzirom na to, može se pretpostaviti istovremena aktivnost tih rasjeda tijekom paleogena. Ova interpretacija je razlog za izmjene koncepta primijenjenog na listu Novo Mesto i usvajanje rezultata novijih istraživanja (Herak, 1986, 1991; Herak & Bukovac, 1988; Prtoljan, 2001; Cvetković, 2007; Molvarec, 2007; Vrsajko, 2008).

Rasjedi pružanja sjeveroistok – jugozapad interpretirani su kao rasjedi s normalnim karakterom pomaka (Pleničar et al., 1975) ili kao rasjedi s horizontalnim lijevim pomakom (Prtoljan, 2001). Promatrano u širem geotektonskom mjerilu, ovi rasjedi pružanjem i karakterom pomaka odgovaraju tzv. balatonskom nizu rasjeda čija je aktivnost u području jugozapadnog Žumberka, kao i u području istočno od Žumberka (Hrvatsko zagorje, istočna Mađarska) interpretirana tijekom neogena i kvartara (Prtoljan, 2001; Tomljenović, 2000; Tomljenović & Csontos, 2001; Csontos & Nagymarosy, 1998). Ti rasjedi prekidaju i transliraju rasjede dinarskog pružanja. Na području jugozapadnog Žumberka ovaj set rasjeda odvaja karbonatno – klastične sedimente mezozoika od neogenskih naslaga Karlovačkog bazena.

Rasjedi pružanja sjever – jug do sjeverozapad – jugoistok su horizontalni, ali s desnim pomakom (Šikić & Prelogović, 1970). Za razliku od prethodno opisana dva seta rasjeda, ovaj je razvijen sporadično i u manjoj mjeri. Pretpostavlja se da je njihova starost miocenska, tj. istovremena s rasjedima pružanja sjeveroistok – jugozapad. Ta dva seta čine konjugirani par čija je aktivnost povezana s istim poljem paleonaprezanja.



Slika 2.5. Tektonska karta jugozapadnog Žumberka s naznačenim područjem istraživanja (prema Prtoljan, 2001): 1. Kvarter; 2. Neogen; 3. Gornja kreda - mastriht; 4. Donja i gornja kreda (otriv – cenoman); 5. Jura; 6. Prebačene gornjotrijaske naslage kod Duralija; 7. Gornji trijas; 8. Srednji trijas; 9. Donji trijas; 10. Čelo navlake; 11. Rasjed s horizontalnim lijevim pomakom; 12. Reversni rasjed; 13. Normalni rasjed; 14. Rasjed s označenim nagibom rasjedne plohe; 15. Pretpostavljeni rasjed; 16. Normalna i prebačena os b; 17. Normalna i transgresivna granica; 18. Normalni i prebačeni slojevi. Legenda za preglednu kartu: Ž – Žumberak; UD – unutrašnji dinaridi; JSN – julijsko-savinjska navlaka; SN – savska navlaka, ADCP – jadransko-dinaridska karbonatna platforma; ZZ – Zagreb-Zemplen rasjed; PL – Perijadranski lineament; TS

– Tisia

2.5. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Vujnović (2010) je na području Parka prirode Žumberak – Samoborsko gorje izdvojila četiri glavne grupe stijena s različitim hidrogeološkim značajkama u skladu s uputama za izradu Osnovne hidrogeološke karte (Šarin, 1988):

1. Nevezane kvartarne naslage
 - a. Dobre propusnosti
 - b. Vrlo slabe propusnosti
2. Nevezane pretkvartarne naslage
3. Karbonatne stijene
 - a. Dobre propusnosti
 - b. Osrednje propusnosti
 - c. Slabe propusnosti
4. Izmjena klastičnih ili klastičnih i karbonatnih stijena slabe propusnosti

Nevezane kvartarne naslage su predstavljene aluvijalnim potočnim nanosima i terra rosom. Terra rosa je vrlo slabe propusnosti i općenito je njeno rasprostiranje malo, te je njena uloga u hidrogeologiji područja mala. Aluvijalni nanosi su u značajnim debljinama prisutni samo u prigorskim dijelovima Žumberka. Uglavnom su dobre propusnosti, ali na području istraživanja su prisutne isključivo u aluvijalnim dolinama potoka i malih su debljina i rasprostiranja.

Karbonatne stijene čine većinu površine. Karakterizira ih pukotinska i pukotinsko – kavernoza poroznost. Propusnost im je uvjetovana litološkim sastavom i intenzitetom tektonskih deformacija.

Vujnović (2010) je pod dobro propusne karbonatne stijene svrstala tektonski razlomljene i dijelom okršene gornjotrijaske dolomite. Za te naslage su unutar Parka vezane pojave najizdašnjijih izvora i njihovih vodonosnika.

Pod osrednje propusne naslage je uvrstila litotamnijske badenske vapnence, kredne vapnenačke breče, jurske vapnence i dolomite, te srednjetrijaske dolomite.

Izmjena klastičnih ili klastičnih i karbonatnih stijena je vezana za područja izgrađena od panonskih vapnenačkih ili glinovitih lapora, paleocenskih vapnenačkih breča i

gornjokrednih „flišnih“ naslaga. Gledano u cjelini, nepropusne naslage sadržane u tim stijenama čine te naslage slabo propusnima. Međutim, vapnenačke sekvence koje se nalaze unutar njih mogu biti dobro propusne. Zahvaljujući tome, na području „Vivodinskog fliša“ postoje brojne speleološke pojave, ali i druge krške pojave poput aktivnih ponora (Brkić et al., 2002).

3. ZNAČAJKE SLIVA IZVORA STUDENA

Hidrologija je znanost koja se bavi vodama iznad, na i ispod Zemljine površine; pojavljivanjem, otjecanjem i raspodjelom vode u vremenu i prostoru; biološkim, kemijskim i fizičkim svojstvima vode i djelovanjem vode na okoliš, uključujući i utjecaj na živa bića. Hidrologija podzemnih voda ili hidrogeologija je grana hidrologije koja se bavi podzemnim vodama, njihovim pojavama i kretanjima u različitim uvjetima u litosferi. Ova se interdisciplinarna znanost sastoji pretežno od hidrologije i geologije, a bavi se različitim pojavama i ponašanjem vode u podzemlju. Ona je neizostavna u proučavanju podzemne komponente otjecanja kod kruženja vode u prirodi (Žugaj, 2000).

Hidrologija je znanost koja se bavi analizama i studijama brojnih utjecaja vode u vezi s njezinim gibanjem i djelovanjem na živu i mrtvu prirodu. Ona proučava režime vode u atmosferi, na površini i ispod površine Zemlje, bez obzira na agregatno stanje vode. U to su uključena motrenja, opažanja, bilježenja pojedinih veličina u prirodi te razrade i analize tih podataka. Na temelju tih podataka i analiza izvode se mjerodavni zaključci o raspoloživim vodnim količinama i njihovoj raspodjeli u vremenu i prostoru.

Hidrogeologija krša je grana hidrologije/hidrogeologije koja se bavi podzemnim vodama u krškim naslagama i slojevima s velikim podzemnim prolazima, koji omogućuju tečenje znatnih količina vode podzemljem.

3.1. SLIV

Sliv je područje s kojeg sva oborinska voda koja padne na njega otječe prema nekoj točki podzemno ili nadzemno. Kod propusnih stijena potrebno je granicu odrediti hidrogeološki, na temelju geoloških spoznaja o podzemnoj građi prostora. U ovom istraživanju sliv obuhvaća pretpostavljeno područje s kojeg sve pale oborine napajaju krški vodonosnik te istječu na izvoru Studena.

Budući da određivanje veličine utjecajnoga sliva u kršu može biti dodatno otežano činjenicom da hidrogeološka razvodnica nije stalna nego ovisna o razinama vode u podzemlju, razvodnica krških slivova pa tako i istraživanog smatra se tek približno

određenom. Način određivanja hidrogeološke razvodnice vrlo je složen, pa je u analizi osim geoloških podloga potrebno koristiti i rezultate hidrogeoloških istraživačkih radova. Pod time se podrazumijeva korištenje rezultata istraživačkih radova na osnovi korištenja različitih obilježivača (trasera) - kemijskih, različitih boja ili radioaktivnih pokazivača - koji se ubacuju na mjesta poniranja vode, a potom se prati njihovo pojavljivanje na izvorima i u vodotocima. Ova metoda iziskuje dulje i skuplje istraživanje te ono u sklopu ovog rada nije izvedeno.

Na otjecanje sa sliva bitno utječu sljedeći čimbenici: zemljopisni, geološki, biološki, klimatski, te antropološki. Zemljopisni su čimbenici veličina i oblik sliva, nagib i reljef terena te gustoća mreže površinskih tokova. Geološke čimbenike predstavlja sastav terena s gledišta propusnosti i geološke građe te sadržaj vode u podzemlju. Vrste raslinja, a posebice zastupljenost šumskih kultura na slivu su biološki čimbenici. Klimatski su oborine, temperatura, vlažnost zraka, vjetar, isparavanje i evapotranspiracija. Značajan je i antropološki utjecaj na promjene vodnoga režima.

Mali se sliv u hidrološkome smislu ne smije određivati isključivo na temelju veličine površine, već se u obzir treba uzeti i druge osobine bitne za otjecanje vode. Bitno je svojstvo malih slivova da oborine koje su uzrokovale pojavljivanje velikih voda redovito padaju na cijeli sliv.

3.2. KRŠKI VODONOSNIK

Postoji pet ključnih elemenata nužnih za nastanak vodonosnika u karbonatnim stijenama. To su: (1) područje ulaza vode ili napajanja, (2) sustav međusobno povezanih podzemnih kanala za prolaz vode, (3) točka istjecanja, (4) oborine i (5) reljef. Ako bilo koji od ovih elemenata nedostaje, stijenska masa je hidrološki inertna i ne može funkcionirati kao vodonosnik. Budući da su svi elementi zadovoljeni na području ovog vodonosnika, svrstao sam ga u krške vodonosnike.

Napajanje vodonosnika odvija se infiltracijom kroz nekonsolidirani materijal koji pokriva okršene stijene, izravnim ulazom vode u raspucanu i okršenu stijensku masu cijelom površinom (difuzno napajanje) ili koncentriranim poniranjem površinskih tokova (točkasto napajanje). Infiltrirana voda pretpostavljeno se kreće uglavnom vertikalno dok ne dospije do

horizontalnih podzemnih kanala koji su prošireni otapanjem i erozijskim djelovanjem tekuće vode. Tako je prisutna horizontalna i vertikalna cirkulacija podzemne vode. Takvoj situaciji pogoduje razvijeni reljef područja istraživanja u kojem se topive stijene nalaze iznad regionalnog baznog nivoa.

Glavne hidrogeološke značajke istraživaniog krškog vodonosnika su razvoj (mijenja se u vremenu puno brže od drugih tipova vodonosnika), heterogenost (značajke vodonosnika značajno variraju u prostoru), anizotropija (hidrauličke značajke ovise o orijentaciji struktura, primjerice, hidraulička vodljivost je velika u smjeru velikih pukotina i kanala, ali vrlo mala u drugim smjerovima), dvojnost infiltracije (voda se infiltrira kroz tlo i nesaturiranu zonu (difuzna infiltracija), ali i koncentrirano na ponorima), dvojnost poroznosti i toka (dva ili tri tipa poroznosti, međuzrska (matriks), pukotinska (pukotine, slojne plohe) i kavernska (otapanjem povećane šupljine, kanali i kaverne razvijene iz početnih diskontinuiteta). Tok u matriksu i sitnim pukotinama je spor i laminaran, a u kanalima uglavnom brz i turbulentan), promjenjivost (krške izvore uglavnom obilježavaju brze promjene količine istjecanja ali i kvalitete vode).

Pukotine proširene otapanjem omogućuju relativno velike brzine tečenja podzemne vode i male mogućnosti popravljivanja kvalitete podzemne vode tijekom prolaza kroz krško podzemlje. Brzine tečenja kroz podzemne kanale mogu biti veće i od nekoliko km/sat (Ford, 1967). Pod takvim uvjetima zagađivala mogu utjecati na kvalitetu vode i na udaljenostima većim od 15 kilometara i pri slabom baznom toku (Vandike, 1982), a mnogo dalje za vrijeme velikih voda.

Za ovaj vodonosnik pretpostavljeno je da je „zreli“ krški vodonosnik. To znači da su pukotine unutar krškog vodonosnika dobro razvijene i da je tok podzemne vode konvergentan prema glavnom izvoru kroz dobro razvijene podzemne kanale. Tečenje podzemne vode prvenstveno se odvija kroz podzemne kanale i može se opisati jednadžbama za cjevno ili kanalsko tečenje (Gale, 1984). Podzemna voda se u krškim, kao i u drugim terenima, kreće odgovarajući hidrauličkom gradijentu od točke napajanja prema točki pražnjenja (istjecanja). „Zreli“ karbonatni vodonosnici općenito su razvijeni ispod starih krških terena s dobro razvijenim ponorima koji prikupljaju i dreniraju površinske vode izravno u sustav podzemnih kanala. U dobro razvijenim krškim terenima, odnosno u područjima sa „zrelim“ krškim vodonosnicima izvori imaju slične značajke izviranja i sličnu kvalitetu vode, pri

čemu se misli na značajne oscilacije u izdašnosti i kvaliteti vode (temperatura, mutnoća, tvrdoća,) u vremenu. Izvori takvih značajki predstavljaju krajnje, izlazne točke iz vodonosnika s dominantno kanalskim tokom koje dreniraju zreli krški vodonosnik (Schuster & White, 1971).

Zaključno se može reći da u većini slučajeva prevladavaju dva tipa tečenja podzemne vode u krškim terenima - difuzno (sporo, laminarno) tečenje i kanalsko (brzo, turbulentno) tečenje. Difuzno tečenje prevladava u primarnim šupljinama, dok se kanalsko tečenje uglavnom odvija kroz sekundarno proširene šupljine čije dimenzije variraju od centimetarskih do dekametarskih. Hidraulička značajka tečenja kroz podzemne kanale, u odnosu na tečenje kroz primarne šupljine, je brzi prolaz vode kroz vodonosnik (Parlov, 2016).

3.2.1. KRŠKI IZVORI

Izvori u slivu su mjesta gdje voda prirodnim putem izlazi iz krškog vodonosnika. Izviranje se odvija iz pukotina različitih dimenzija. Voda istječe uslijed gravitacije prolaskom kroz pukotine. Neki od otvora kroz koje voda izvire su vidljivi, dok neki nisu, što je slučaj ako su prekriveni nekonsolidiranim nanosom. Unutar sustava su tijekom različitih uvjeta tečenja aktivne različite točke izviranja.

Krški izvor može se javiti na razini lokalnog ili regionalnog baznog toka na točki gdje se površina terena usijeca ispod vodnog lica ili podzemnog kanala ispunjenog vodom (Slika 3.1.), ili na kontaktu propusnih stijena sa nepropusnim i ovo je najčešći tip izviranja u slivu.



Slika 3.1. Izvor na lokaciji Potok nastao otapanjem vapnenca i formiranjem kanala

Izvori su obično smješteni ili na dnu dolina ili u podnožju strmih padina, kao što je slučaj s izvorom Studena (Slika 3.2.). Izvor se nalazi pokraj zaselka Stupe na nadmorskoj visini 265 m n.m. U zaleđu izvora su strme padine trošnih dolomita, u kontaktu s krednim vapnencima. Od izvora vodi kratak tok na kojem su mjereni protoci te se nakon oko 200 m ulijeva u Kupčinu.



a)



b)

Slika 3.2. Izvor Studena (a) i kratki tok Studene sa zaleđem izvora (b)

Općenito, krški izvor Studena je glavna točka istjecanja (pražnjenja) istraživanog vodonosnika. Izvire na tektonskom kontaktu propusnih naslaga, te predstavlja drenažu sustava podzemnih kanala i pukotina koje konvergiraju prema glavnom kanalu (konvergentni tok). Glavna značajka izvora je velika promjenjivost izdašnosti te stalna godišnja temperatura vode približno jednaka srednjoj godišnjoj temperaturi zraka na tom području.

3.2.2. VODOTOCI

Površinski tokovi u okršenim područjima uglavnom su rijetki, a ako postoje su uglavnom kratki i često završavaju ponorom. Na površini sliva površinski tokovi su zbog fliških naslaga relativno gusto raspoređeni, ali isto tako zbog vapnenačkih sekvenci naslaga brzo poniru. Kratki tokovi koji poniru počinju krškim izvorom, te nakon kratkog toka naglo prestaju drenirajući se u podzemlje kroz više ili manje razvijeni ponor. Ponori su otvori u karbonatnim stijenama gdje površinske vode otječu u podzemlje. Ponori u slivu uglavnom su manjih dimenzija (promjeri kanala uglavnom su 10-tak cm široki).

Do gubitaka vode iz površinskog vodotoka može doći i zbog infiltracije kroz aluvijalni nanos koji prekriva temeljnu stijenu s razvijenim pukotinskim sustavom. Vodotoci mogu dobiti vodu na jednoj dionici toka i izgubiti je na drugom dijelu, ovisno o lokalnim geološkim i hidrogeološkim uvjetima, što je i ovdje bio slučaj.

Voda teče kroz podzemlje, a na dodiru s uglavnom vodonepropusnim naslagama vraća se na površinu u obliku vrela odnosno izvora, za što se ovdje pretpostavlja da je izvor Studena.

Kako je voda u ponirućim tokovima i podzemnim tokovima podložna zagađivanjima s površine, zagađivala mogu putem njih biti unesena neposredno u krške vodonosnike. Zbog toga je važno identificirati takve pojave u područjima gdje se krški vodonosnici koriste za javnu vodoopskrbu.

3.3. VODNA BILANCA

Vodna bilanca (W) sliva pojednostavljeno predstavlja razliku između „ulaza“ i „izlaza“ vode sa sliva. To znači, da je W razlika količine ukupne vode koja je pala na sliv i koja je izašla sa sliva.

Dva su temeljna načina bilanciranja podzemnih voda u kršu. Prvi je na temelju odnosa ulaznih i izlaznih količina vode, a drugi na temelju opadajućeg dijela hidrograma istjecanja vode na izlazu (izvoru).

Bilanciranje podzemnih voda na temelju podataka o ulazu i izlazu zahtijeva obimne i detaljne istraživačke hidrogeološke radove od kojih su mnogi navedeni i u ovom radu. U praksi je ova metoda primjerenija nekrškim područjima gdje je i prikupljanje podataka mnogo lakše. To ne znači da za krš ovaj pristup nije uporabljiv i da ne može dati korisne podatke. No, koji su sve podaci potrebni može se vidjeti iz detaljnog oblika opće vodne bilance koja glasi:

$$[(P + K) + (D1 + D2) + R] - [(E1 + E2) + (S1 + S2) + (N1 + N2)] = \pm \Delta W \quad (3.1.)$$

gdje je:

P – oborina

K - kondenzirana vlaga;

D1 - površinski dotok vode;

D2 – podzemni dotok vode;

R – umjetni dovod vode (vodovodi, kanali) iz drugih slivova;

E1 – evaporacija s otvorenih vodenih površina;

E2 - isparavanje s površine tla i transpiracija;

S1 – površinsko otjecanje;

S2 – podzemno otjecanje;

N1 – umjetni odvod vode u druge slivove (vodovodi, kanali)

N2 – potrošnja vode unutar sliva

ΔW – promjena mase (volumena) vode u određenom vremenu.

Oborina (P) predstavlja ukupnu količinu vode koja u obliku oborina padne na sliv. Kondenzirana vlaga (K) je vlaga koja se kondenzira na tlu i predmetima iz vlagom zasićenog zraka, u obliku rose ili inja. Podzemni dotok vode (D2) predstavlja vodu koja podzemljem

utječe u sliv kroz stijene međuzrnske ili pukotinske poroznosti. Površinski dotok (D1) je voda koja iz okolnih prostora dotječe površinski na prostor sliva. Evaporacija (E1) predstavlja ishlapljivanje vode s vodenih površina, a E2 ishlapljivanje iz tla te iz biljaka (transpiracija). Zanimljiv je podatak da bukva, većinski zastupljena na području istraživanja, godišnje transpirira oko 300 mm vode (HŠD, 1999). U E1 može se još uključiti i intercepcija, koja označava zadržavanje oborinske vode i ishlapljivanje iste izravno sa krošnja drveća. Intercepcijom je u listopadnim šumama moguć gubitak oborinske vode od 30 % (HŠD, 1999). Ove prosječne vrijednosti dobivene su iz širokog raspona ovisno o dobu godine, uz maksimume u toplijem dijelu godine budući da topli zrak može primiti znatno više vlage te da biljni svijet buja upravo u to vrijeme.

Pojedine članove iz gornje jednadžbe moguće je dobiti terenskim istraživanjima (mjerenjima) i odgovarajućom interpretacijom prikupljenih podataka. Samo se pažljivom i temeljitom analizom može odlučiti koji se članovi mogu zanemariti, koji procijeniti, a koji posredno utvrditi u pojedinom području. Bilance mogu biti višegodišnje, jednogodišnje ili za razdoblja kraća od jedne godine. Ukoliko to podaci omogućuju, korisno je raditi bilance za sva tri vremenska razdoblja, jer se na taj način mogu neki članovi bilance koji se utvrđuju posredno točnije odrediti. Kod bilance za višegodišnji period ΔW teži nuli, pa se bilanciranjem može doći do podatka o srednjem podzemnom dotjecanju u sliv, što je gotovo nemoguće utvrditi neposrednim mjerenjima. Jednogodišnjom bilancom moguće je odrediti zadržavanje vode u krškom podzemlju. Ukoliko se radi bilanca za kraći period od jedne godine, njome se mora obuhvatiti barem jedan hidrološki ciklus. To znači da se moraju prikupiti i analizirati podaci za razdoblje početnih malih voda, velikih voda i završnih malih voda. Pri donošenju zaključaka na temelju rezultata bilance ulaza i izlaza treba biti oprezan, jer oni mogu često zavesti. Primjerice, ukoliko se radi bilanca u vremenu kojem je prethodio niz kišnih godina, ili ako je prethodila i samo jedna izrazito hidrološki vlažna godina ΔW će biti veći od nule, što može navesti na zaključak o nerealno velikom podzemnom dotoku. Ako se pak bilanca radi nakon dužeg sušnog razdoblja ΔW će biti manji od nule, što može dovesti do zaključka da nisu dobro definirane granice sliva ili da postoje izlazi koji nisu obuhvaćeni mjerenjima. (Parlov, 2016).

4. TERENSKA ISTRAŽIVANJA

Terenski obilazak sliva i mjerenja vršena su tijekom rujna 2016. godine, te su u skladu s podacima s topografske karte mjerila 1:25.000 prekontrolirana sva mjesta s mogućim površinskim tokovima vode. Ustanovljeno je da kroz većinu dolina protječe stalan ili povremen tok. Na tokovima su izmjereni ili vizualno procijenjeni protoci. Sakupljena su 3 uzorka vode te izmjerena temperatura vode. Obilaskom terena također su detaljnije proučeni geološki odnosi u slivu te izmjereni strukturni elementi (pružanje i nagib slojeva). Za mjerenja pružanja i nagiba slojeva korišten je geološki kompas Brunton.

4.1. MJERENJE PROTOKA

Protok površinskih tokova mjeren je hidrometrijskim krilom SEBA (Slika 4.1.). No, zbog malih protoka pri kojima nije bilo moguće mjeriti hidrometrijskim krilom, protoci su procjenjivani.

4.1.1. ODABIR MJESTA ZA MJERENJE PROTOKA

Mjesto gdje se vrši mjerenje protoka potrebno je odabrati u skladu sa situacijom na terenu. Potrebno je obratiti pažnju da je pravac toka ravan minimalno nekoliko metara ili bez značajnijeg zakretanja, te da je dno što glađe. Izbočenja poput komada stijena ispred ili na mjernom profilu mogu uzrokovati greške prilikom mjerenja, i to stvaranjem turbulencija koje uzrokuju pogrešno očitavanje brzine.

Nakon odabira odgovarajućeg mjesta potrebno je postaviti profil okomito na smjer toka. Profil se obilježava mjernom trakom ili užetom koji moraju biti napeti sa oba kraja toka. Potrebno je izmjeriti širinu postavljenog profila, te odrediti vertikale za mjerenja brzine. Ako ne koristimo mjernu traku, potrebno je mjesta mjerenja na užetu prethodno izmjeriti i obilježiti.

Nakon toga potrebno je izmjeriti dubinu vode u svakoj mjernoj vertikali, a izmjerene podatke pažljivo upisati u terenski dnevnik. Na taj način dobije se površina poprečnog profila u točki mjerenja.

4.1.2. MJERENJE BRZINA TOKA

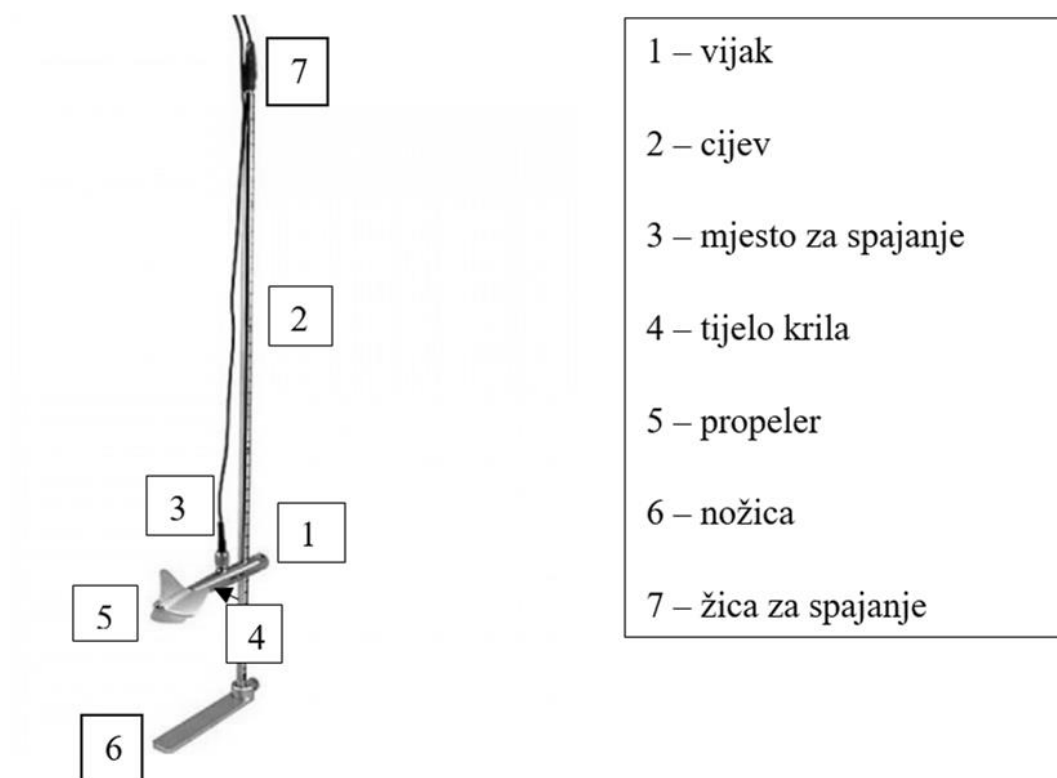
Nakon što se pripremi profil, hidrometrijskim krilom mjere se brzine na svakoj vertikali. Broj mjerenja brzina u okomici ovisi o dubini vode te metodi koja se koristi za izračun protoka. Srednja brzina u okomici računa se prema izrazima prikazanima u tablici 4.1.

Tablica 4.1. Proračun srednje brzine u okomici hidrometrijskog profila (Žugaj, 2000.)

Broj mjerenja	Dubina vode H (m)	Mjesto mjerenja (od površine vode)	Srednja brzina vode u okomici v_o
jedno	0,30 - 0,60	0,6H	$v_o = v_{0,6}$
dva	0,60 - 3,0	0,2H i 0,8H	$v_o = 0,5(v_{0,2} + v_{0,8})$
tri	3,0 - 6,0	0,2H; 0,6H i 0,8H	$v_o = 0,25(v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8})$
tri	3,0 - 6,0	površina; 0,5H; dno	$v_o = 0,3v_p + 0,5v_{0,5} + 0,2v_o$
pet	> 6,0	površina; 0,2H; 0,6H; 0,8H; dno	$v_o = 0,1(v_p + 3v_{0,2} + 3v_{0,6} + 2v_{0,8} + v_o)$

U ovom radu primijenjena je metoda s 3 mjerenja u okomici te jednim na 0,6 dubine, a za mjerenja brzine korišteno je hidrometrijsko krilo tipa SEBA (Mini current meter M1). Ovo hidrometrijsko krilo koristi se za precizno određivanje trenutnih brzina u manjim vodotocima (rijeke s niskim vodostajem, potoci) te hidrauličkim modelima. Vrlo je osjetljivo zbog čega je s njim potrebno pažljivo rukovati.

Glavni dijelovi hidrometrijskog krila vidljivi su na slici 4.1.



Slika 4.1. Glavni dijelovi hidrometrijskog krila

Hidrometrijsko krilo sastoji se od cijevi (vodilice) za koju je pričvršćeno tijelo krila sa samim krilom (propeler) (Slika 4.1.). Nosač krila žicom je povezan na elektronski mjerač broja okretaja krila (Slika 4.2.). Cijev (vodilica) je duga 1,5 m, a sastoji se od 3 dijela jednake duljine koje je potrebno spojiti. Na cijevi je također označena duljina koja nam služi za određivanje dubine kod mjerenja ili postavljanja krila na određenu dubinu tijekom mjerenja. Nosač krila se na cijev spaja vijkom koji se ručno zategne. Donji dio cijevi spaja se s nogicom koja odvaja hidrometrijsko krilo od dna. Na prednji dio nosača krila postavlja se propeler na način da se samo utisne. Postoje propeleri različitih značajki (promjer i zakrivljenosti krilca) i upravo o tim značajkama ovisi maksimalna brzina koju je moguće mjeriti te početna brzina. Za mjerenja obavljana u ovom radu korišten je propeler promjera 50 mm, zakrivljenost u okretaju 250 mm. Trenje kod vrtnje propelera je zanemarivo, uz odgovarajuće korištenje ulja za podmazivanje koje dolazi kao dio opreme.

Hidrometrijsko krilo spaja se s električnim brojačem impulsa/okretaja. U tu svrhu potrebno je jedan kraj kabela staviti na vrh cijevi (crveni kraj, pozitivan naboj), drugi na tijelo krila na mjestu za spajanje (crni kraj, negativan naboj) te na sam brojač. Svaki okretaj propelera

stvora signal koji se do brojača okretaja prenosi pomoću stalnog magneta smještenog u tijelu krila. Brojač koji se koristio za mjerenja na terenu je brojač impulsa iz serije Z6 (Slika 4.2.). Oni imaju mogućnost namještanja intervala brojanja okretaja (30s, 60s, 120s, ...) ili odabira izravnog iščitavanja broja okretaja u neograničenom vremenskom intervalu. Podaci se pohranjuju na uređaj ili prepisuju na papir sa digitalnog zaslona i moguće ih je kasnije analizirati.



Slika 4.2. Brojač impulsa Z6

(URL: http://www.hydrokit.co.uk/images/accessories/53_lg_s_04ece5afdb.jpg)

Budući da se instrumentom mjeri broj okretaja krila u jedinici vremena (s), potrebno je broj okretaja naknadno preračunati u stvarnu brzinu. Pritom se za izračunavanje brzine koristi sljedeća formula:

$$V = k \times n + D \quad (4.1.)$$

V – brzina toka(m/s)

k – hidraulička zakrivljenost (m)

n – broj okretaja u sekundi

D – karakteristike hidrometrijskog krila (m/s) (početna brzina)

4.1.3. METODA BRZINA – POVRŠINA

Kod mjerenja hidrometrijskim krilom za izračunavanje protoka koristi se metoda brzina – površina. Podaci su obrađeni u programu Excel te je kreirana tablica u kojoj su prikazani izmjereni podaci te izračunate vrijednosti. Tablica sadrži sljedeće oznake: d (cm), P_{dno} , $P_{sred.}$, $P_{pov.}$, $P_{sred.}$, n (s^{-1}), v (m/s), A (m^2), te q (l/s).

Prvi stupac tablice označen je s d (cm) i u njega su unesene dubine izmjerene na pojedinim vertikalama u centimetrima. Stupci P_{dno} , $P_{\text{sred.}}$, $P_{\text{pov.}}$, $P_{\text{sred.}}$ označavaju broj okretaja hidrometrijskog krila u 30 sekundi mjerenja, izmjerenih na dnu, sredini i površini vertikale. $P_{\text{sred.}}$ označava srednji broj okretaja u vertikali, a dobiven je naredbom „average“. Isto tako, ako je mjereno na manje od 3 točke na vertikali, prosjek je izračunat samo na temelju 2 vrijednosti ili je kao prosjek uzeta izmjerena vrijednost ako je mjereno samo u jednoj točki na vertikali. U stupcu n (s^{-1}) prikazane su vrijednosti P_{sred} podijeljene s 30, odnosno srednji broj okretaja u sekundi. V (m/s) predstavlja srednju brzinu toka mjernih točaka u vertikali izračunatu prema formulama 4.1 i 4.2.

$$v = 0,0123 + 0,2473 \times n, \text{ (m/s), za } n < 1,74 \quad (4.2.)$$

$$v = -0,0042 + 0,2568 \times n, \text{ (m/s), za } n > 1,74 \quad (4.3.)$$

Površine odjeljaka (A , m^2) računaju se tako da se uzme prosjek srednjih dubina između susjednih i mjerne okomice, te se pomnoži s jediničnim razmakom dvije okomice koji iznosi 0,1 m. Za početnu i posljednju točku profila uzima se za površinu prosjek dubina završne ili početne točke (koji iznosi 0) te srednje dubine prve ili zadnje dvije točke. Za širinu se ovdje uzima vrijednost polovice razmaka. Tako je protjecajni profil podijeljen u segmente kojima je u središtu okomica u kojoj se vrši mjerenje brzine. Srednja brzina u okomici izračunata na osnovi srednje vrijednosti izmjerene u tri točke uzima se kao srednja brzina toka u segmentu. Za početnu i završnu točku, za srednju brzinu uzima se polovica srednje brzine u susjednoj okomici.

Umnožak površine segmenta i srednje brzine toka u segmentu daje protok u m^3/s koji je potrebno jos pomnožiti s 1000 da bi ga preračunali u l/s. Tako je u tablici prikazan protok u pojedinom segmentu koji je označen s q_i (l/s), a sumiranjem dobivenih vrijednosti protoka segmenata dobiva se ukupan protok Q (l/s) prikazan na dnu tablice.

4.2. IN SITU MJERENJA I UZORKOVANJE VODE

Temperatura vode na terenu mjerena je termometrom model TP 101 (Slika 4.3). Termometar ima ugrađen senzor za osjet temperature u metalnoj šipci, koja se uroni u tekućinu, a prikaz izmjerene vrijednosti temperature je na digitalnom zaslonu koji je pričvršćen za šipku. Termometar mjeri temperaturu u rasponu od -50°C do 300°C . Točnost mjerenja prema specifikaciji proizvođača je u rasponu 1°C . Izmjerene temperature te datume mjerenja upisao sam u terenski dnevnik.



Slika 4.3. Digitalni termometar TP 101

Uzorci vode točeni su tijekom terenskog istraživanja u plastične boce volumena 1l. Boce je dolaskom do mjesta uzorkovanja potrebno isprati u vodi za uzorkovanje.

Uzorke vode potrebno je prikupiti na mjestu gdje je najmanja mogućnost zamućenja vode prilikom točenja. Prilikom jako malih protoka to može biti neki slapić ili udubina u koritu ispunjena vodom, a nastala erozijskim utjecajem slapa ili toka. Kod većih protoka sakupljanje uzoraka je ipak lakše jer su područja s dubljom vodom češće prisutna.

Nakon sakupljanja uzoraka na boci se obilježi mjesto i datum uzimanja uzorka.

Uza sve to, prije sakupljanja uzoraka vode preporuča se filtriranje uzorka vode, koje je u ovom radu naknadno rađeno na uzorcima u laboratoriju. Isto tako, ako se laboratorijska mjerenja ne provode odmah nakon uzorkovanja, uzorke je potrebno pravilno pohraniti na mračno i hladno mjesto kako bi se voda očuvala za naknadna ispitivanja.

4.3. GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Obilaskom terena i uporabom kompasa izmjereni su položaji slojeva, te pružanje slojeva i rasjeda. Za to je korišten geološki kompas Brunton.

Za razliku od geografskog kompasa, kod mjerenja slojeva strane svijeta su zamijenjene te se očitava azimut na „južnoj“ strani strelice. To je ujedno i smjer nagiba sloja kada poklopac kompasa prislonimo uz slojnu ili neku drugu plohu stijene, te uz odgovarajući vodoravni položaj kompasa za što nam pomaže labela. Na poklopcu se također nalazi ogledalo koje služi za očitavanje azimuta nagiba kada mjerenja obavljamo na nepovoljnim izdancima s nemogućnošću pregleda gornje strane kompasa.

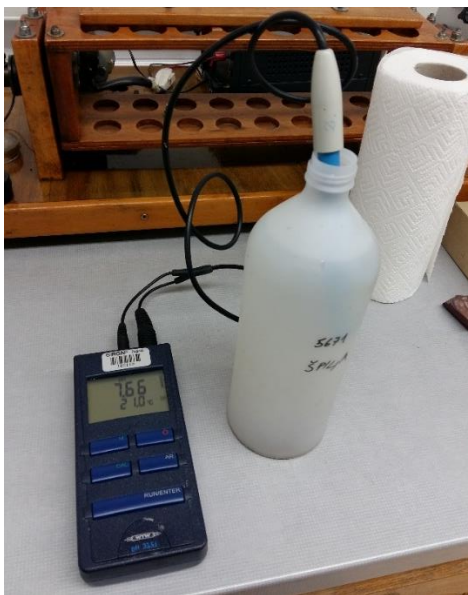
Za mjerenje nagiba slojeva, potrebno je kompas okrenuti na bočnu stranu, tako da dužinom prati prethodno određen pravac nagiba sloja. Skala na kojoj su označeni nagibi u stupnjevima mora biti na strani koja se prislanja uz plohu. Potom se pomična labela za mjerenje nagiba slojeva ručno dovodi u horizontalu, a ispod nje se na skali očitava kut nagiba.

5. ANALIZA VODE U LABORATORIJU

Laboratorijska mjerenja provedena su u Laboratoriju za analizu geoloških materijala, RGNF-a. Urađena su sljedeća ispitivanja, odnosno mjerenja: mjerenje pH, mjerenje elektrovodljivosti, titracija HCl-om ($c=0,1$ mol) te ionska kromatografija.

5.1. PH

Mjerenje pH izvršeno je na uzorcima vode u laboratoriju. Mjerenja su rađena uređajem pH315i proizvođača WTW (Slika 5.1.). Maleni prijenosni pH – metar namijenjen je prije svega mjerenju pH voda izravno na terenu. Uz to, istovremeno vrši i mjerenje temperature, a rezultati mjerenja su brzi i precizni.



Slika 5.1. Mjerenje pH metrom pH315i

Uređaj se sastoji od 2 osnovna dijela, samog mjernog instrumenta te sonde za mjerenje povezane sa instrumentom žičanim kabelom. Sondu je potrebno uroniti u vodu, a u njoj se nalaze osjetnici za pH i temperaturu. Nakon uranjanja, potrebno je nekoliko desetaka sekundi do stabilizacije i ispisa točnog rezultata na zaslonu instrumenta.

5.2. ELEKTROVODLJIVOST

Za mjerenje elektrovodljivosti korišten je uređaj Cond 3110 istog proizvođača kao i pH metar (Slika 5.2.). Uređaj je malen i vodootporan i koristi se za mjerenje temperature i elektrovodljivosti prirodnih voda na terenu. Opseg mjerenja iznosi za elektrovodljivost od 0 do 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ s mogućnošću pogreške od 5% izmjerene vrijednosti te za temperaturu od -5°C do 105°C s mogućnošću pogreške za $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Uređaj se poput pH metra sastoji od dva dijela, a razlika je jedino što ovaj uređaj ima sondu s osjetnikom za mjerenje elektrovodljivosti.



Slika 5.2. Mjerenje elektrovodljivosti uređajem Cond 3110

5.3. ODREĐIVANJE ALKALITETA VODE

Alkalitet vode je njezin kiselinско neutralizirajući kapacitet. Predstavlja sumu svih prisutnih baza u vodi koje mogu reagirati s kiselinom. Alkalitet mnogih prirodnih voda uzima se kao mjera koncentracija karbonata, hidrogenkarbonata i hidroksida prisutnih u vodi. Izmjerena vrijednost može uključivati i druge baze ako su prisutne u vodi (primjerice borate, fosfate, silikate) ali se prisutnost navedenih soli kod određivanja alkaliteta zanemaruje. Alkalitet u vodi se određuje titracijom kiselinom uz pH indikatore. Ovisno o upotrebljenom pH indikatoru vrijednosti izmjerenih alkaliteta variraju, te razlikujemo phenolphthalein alkalitet (p vrijednost) i metil narančasto alkalitet (m-vrijednost).

Phenolphtalein alkalitet (p-vrijednost) je kvantitativna mjera za alkalitet do pH vrijednosti 8,3. Kod ove titracije, kiselina (najčešće 0,1 M HCl) reagira s hidroksidnim i karbonatnim ionima (prema jednadžbama 5.1., 5.2. i 5.3.) pri čemu karbonati prelaze samo u hidrogenkarbonate, a po molu karbonata troši samo 1 mol kiseline. Kraj reakcije karakteriziran je promjenom boje indikatora phenolphtaleina iz ljubičaste u bezbojnu.



Na sličan način se određuje i ukupni alkalitet vode koji se određuje uz indikator metil narančasto koji indicira promjenu pri pH vrijednosti 4,3. Alkalitet određen uz metil narančasto često se naziva m-vrijednost. Pri određivanju ukupnog alkaliteta u vodi s kiselinom reagiraju svi hidroksidi, karbonati i hidrogenkarbonati (prema reakcijama 5.1, 5.2, i 5.3) pri čemu i karbonati i hidrogenkarbonati prelaze u CO_2 i H_2O . Za titraciju mola karbonata troše se dva mola kiseline, a za titraciju mola hidrogenkarbonata 1 mol kiseline.

Rezultati dobiveni određivanjem phenolftalein alkaliteta i ukupnog alkaliteta ukazuju na tri moguća oblika alkaliteta prisutna u vodi i to: alkalitet hidrogenkarbonata, alkalitet karbonata i alkalitet hidroksida, uz pretpostavku da u vodi nema drugih anorganskih ili organskih kiselina (poput silicijeve, fosforne i borne kiseline).

Pri računanju alkaliteta hidroksida, karbonata i hidrogenkarbonata u vodi (na temelju p i m vrijednosti) pretpostavlja se da hidroksidi i hidrogenkarbonati ne mogu biti prisutni u vodi u isto vrijeme. Odnos koncentracije hidroksida, karbonata i hidrogenkarbonata u ovisnosti o p i m vrijednostima dobivenim titracijama prikazan je u Tablici 5.1.

Tablica 5.1. Odnos utroška 0,1 M HCl za titraciju hidroksida, karbonata i hidrogenkarbonata u 100 ml vode u ovisnosti o odnosu p i m vrijednosti (Pustaj & Kapor, 2015.)

Rezultat titracije	Alkalitet		
	Hidroksidi	Karbonati	Hidrogenkarbonati
$p = 0$	0	0	m^*
$2p < m$	0	2p	$m-2p$
$2p = m$	0	2p	0
$2p > m$	$2p-m$	$2(m-p)$	0
$p = m$	m	0	0

Volumeni HCl utrošeni pri titracijama navedeni u Tablici 5.1. preračunaju se u molove kiseline potrebne za titraciju 1l uzorka iz čega se onda može izračunati koncentracija hidrogenkarbonata, karbonata i hidroksida. p i m vrijednosti predstavljaju volumene 0,1 M HCl potrebne za titraciju 100 ml uzorka i broj milimolova HCl za reakciju s alkalitetom iz 1l uzorka. Na taj način, uz poznati odnos molova u reakcijama alkaliteta s HCl (reakcije 1-3), lako se može izračunati koncentracija pojedinih alkaliteta.

p vrijednost ili p-alkalitet predstavlja volumen HCl, $c=0,1 \text{ mol/l}$, u ml potreban za titraciju 100 ml vode uz indikator fenolftalein (kratica p dolazi od latinskog imena phenolphthalein). p vrijednost se još naziva i kiselinski kapacitet do pH 8,3. Pri titraciji uz fenolftalein s HCl reagiraju svi u vodi prisutni hidroksidi i karbonati. Postupak se provodi tako da se 100 ml uzorka vode stavi u Erlenmayerovu tikvicu, doda se 3-4 kapi fenolftaleina i ako voda pocrveni titrira se s HCl, $c=0,1 \text{ mol/l}$, do nestanka crvene boje. P vrijednost iznosi 0 ako voda ne pocrveni, odnosno ako je pH manji od 8,3.

m vrijednost je volumen HCl, $c=0,1 \text{ mol/l}$, u ml potreban za titraciju 100ml vode uz indikator metil-oranž. Pri titraciji uz metil-oranž s HCl reagiraju svi hidroksidi, karbonati i hidrogenkarbonati prisutni u vodi. 100 ml uzorka vode odlijemo u Erlenmayerovu tikvicu te dodamo 0,5 ml metil-oranža, te titriramo s HCl, koncentracije $c=0,1 \text{ mol/l}$ do prijelaza boje iz žute u narančastu. Ako se prilikom titracije troši više od 6 – 8 ml HCl oslobođenu ugljičnu

kiselinu treba „istjerati“ kuhanjem. Ako se nakon toga ponovno pojavi početna, žuta boja nastavljamo titraciju do prijelaza u narančastu.

Dobivenim p i m vrijednostima, prema tablici 5.1 računamo koncentracije hidroksida (5.4.), hidrogenkarbonata (5.5.) i karbonata (5.6.) u ispitivanom uzorku vode, prema formulama:

$$c(OH^-) = \frac{c(HCl) * V(HCl)}{V_{uzorka}} \quad (5.4.)$$

$$c(CO_3^{2-}) = \frac{c(HCl) * V(HCl)}{V_{uzorka}} \quad (5.5.)$$

$$c(HCO_3^-) = \frac{c(HCl) * V(HCl)}{V_{uzorka}} \quad (5.6.)$$

gdje je c (HCl) koncentracija korištene klorovodične kiseline, c=0,1 mol/l, V (HCl) je volumen utrošene HCl, a V uzorka predstavlja volumen uzorka. Dobivene koncentracije izražene su u mol/l.

Iz dobivenih vrijednosti za p i m, pomoću Tablice 5.1. može se odrediti volumen standardne otopine kiseline koji se koristi za izračunavanje količine hidroksida, karbonata i hidrogenkarbonata u mg/l. Količine karbonata i hidrogenkarbonata računaju se prema jednadžbama:

$$m_{OH^-} = \frac{V_{HCl} \times c_{HCl} \times M_{OH^-}}{V_{uzorka}} \times 1000 \quad (5.7.)$$

$$m_{CO_3^{2-}} = \frac{V_{HCl} \times c_{HCl} \times M_{CO_3^{2-}}}{V_{uzorka}} \times 1000 \quad (5.8.)$$

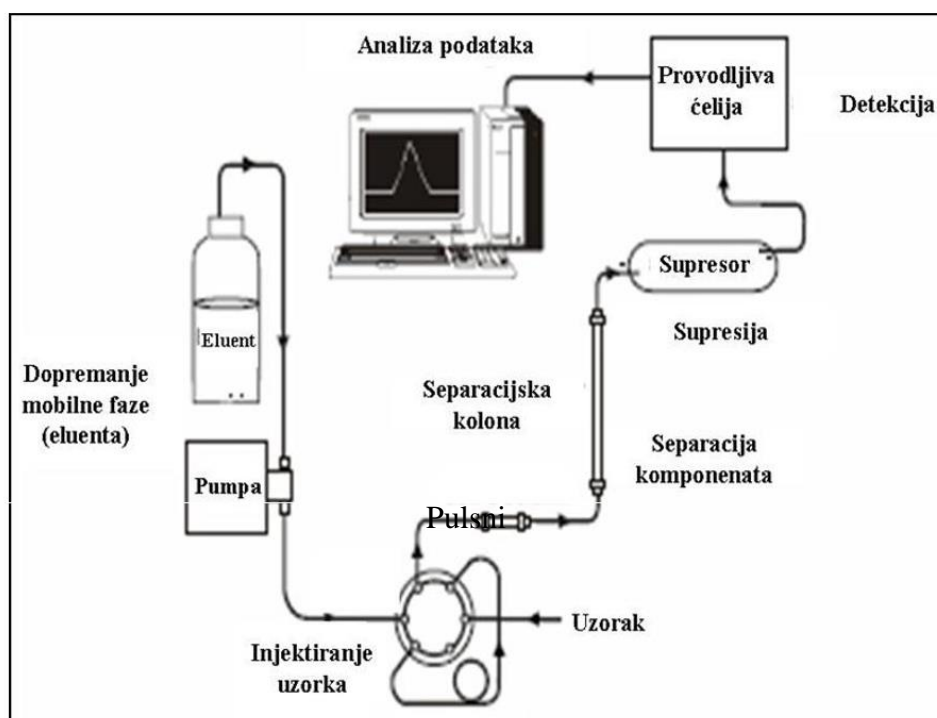
$$m_{HCO_3^-} = \frac{V_{HCl} \times c_{HCl} \times M_{HCO_3^-}}{V_{uzorka}} \times 1000 \quad (5.9.)$$

Pri čemu je c (HCl) koncentracija korištene klorovodične kiseline, c=0,1 mol/l, V (HCl) je volumen utroška HCl, a V uzorka predstavlja volumen uzorka vode.

5.4. IONSKI KROMATOGRAF

Za određivanje ionskog sastava uzoraka korišten je ionski kromatograf ICS – 900 proizvođača Dionex. ICS-900 je integrirani jednokanalni ionski kromatograf dizajniran za rutinsku izokratnu analizu aniona i kationa u svega 10-15 minuta. Sustav koristi MMS™ 300 membranski supresor za niski šum i stabilnu baznu liniju. Svaki ICS-900 sustav je dizajniran od polimernih materijala, kako bi se eliminirala kontaminacija i korozija, s pouzdanim dvostrukim klipom pumpe. Osim toga, ICS-900 su opremljeni sa visoko-tlačnim pulsni amortizerom, ventilom od PEEK materijala, i temperaturno-kontroliranom konduktometrijskom ćelijom.

Ionska kromatografija (IK) je tekućinska kromatografija na stupcu kojoj se separacijski mehanizam temelji na fenomenu ionske izmjene na nepokretnoj fazi s aktivnim pozitivno ili negativno nabijenim funkcionalnim grupama. Odlikuje se visokom selektivnošću, osjetljivošću, brzinom i simultanom detekcijom. Tipični ionsko kromatografski sustav sastoji se od pumpe za pokretanje mobilne faze, nepokretne faze (predkolone i kolone), injektora, supresora, detektora i računala za vođenje analize i obradu podataka (Slika 5.3.).



Slika 5.3. Shema rada ionskog kromatografa (modificirano prema Kralj, 2015)

Ionskim kromatografom utvrđivala se prisutnost sljedećih aniona: fluorid (F^-), klorid (Cl^-), nitrit (NO_2^-), bromid (Br^-), nitrat (NO_3^-), fosfat (PO_4^{3-}), sulfat (SO_4^{2-}).

Od kationa, uzorci su ispitivani za sljedeće: natrij (Na^+), magnezij (Mg^{2+}), kalcij (Ca^+), litij (Li^+), amonij (NH_4^+), kalij (K^+).

Ionski kromatograf je softverski vođen. Pokretanjem Cromeleon softvera uzorak vode injektiramo u uređaj.

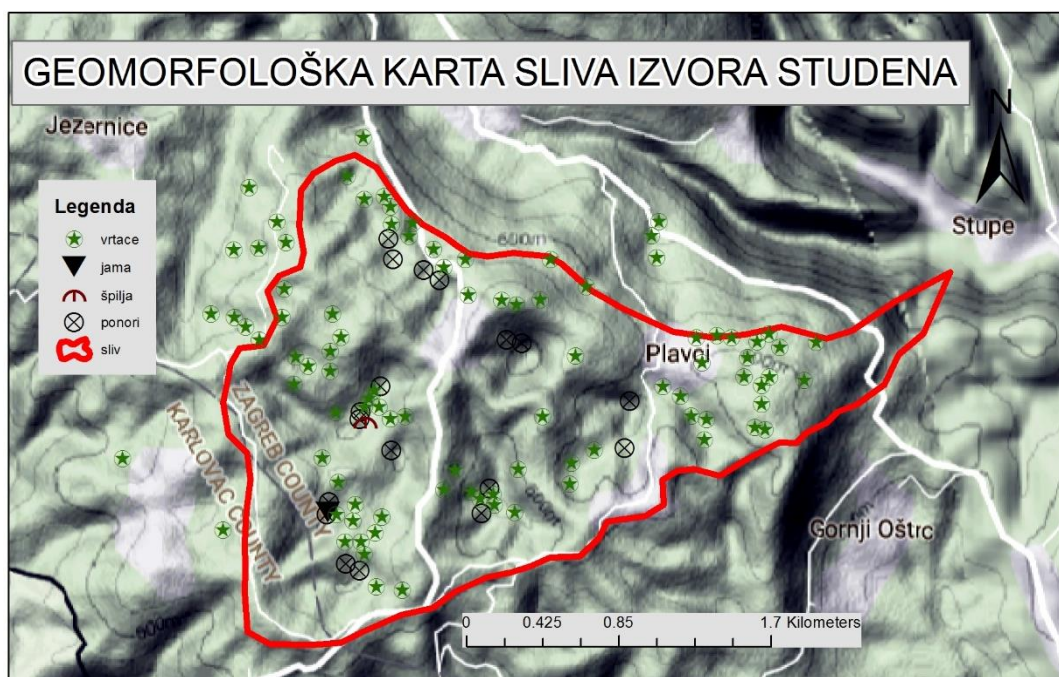
Identifikacija iona utvrđena je vremenom zadržavanja iona u koloni odnosno usporedbom vremena zadržavanja aniona u uzorku s vremenom zadržavanja odgovarajućih ion standarda. Anion fluora javlja se nakon otprilike 2,2 minuta, klora 2,97 minuta, nitrita 3,5 minuta, broma 4,3 minuta, nitrata 4,6 minuta, fosfata 6,2 minuta, sulfata 7,3 minuta. Kod kationa, prvi se javlja natrij nakon oko 2,74 min, potom magnezij na otprilike 3,8 min, te posljednji kalcij na 4,47 min. Ostali kationi nisu identificirani u uzorku.

6. REZULTATI TERENSKIH OPAŽANJA

Prilikom terenskog rekognosciranja vođen je terenski dnevnik. Opažana je temperatura vode, protoci, litološke i strukturne značajke, krške pojave, te hidrogeološke pojave i značajke. Podaci terenskih istraživanja su obrađeni u programu ArcGIS (ESRI, 2010) te su izrađene pojedine karte: geomorfološka karta (Slika 6.1.), geološka karta (Slika 6.8.) te hidrogeološka karta (Slika 6.9.).

6.1. GEOMORFOLOGIJA PROSTORA

Prostor istraživanja generalno gledajući je visoravan nadmorske visine 600 do 700 m n.m., isprečjecan brojnim strmim i dubokim dolinama V tipa, uz učestalu pojavu vrtača, ponajviše u vapnenačkim sekvencama naslaga i oko ponora. Geomorfološka karta prostora prikazana je na Slici 6.1.



Slika 6.1. Geomorfološka karta sliva izvora Studena s prikazom pojave krških oblika

Na karti je vidljivo kako se na velikom dijelu sliva razvio neravan krški reljef sa mnogobrojnim vrtačama koje su različitih dimenzija (Slika 6.2.). Velik dio vrtača preuzet je sa topografske karte TK 1:25 000 (DGU), dok su neke ucrtane tijekom terenskog istraživanja. Vrtače su na karti označene zelenom zvjezdicom unutar kruga. Uz prostor vrtača vezane su i pojave ponora kao još jedno krško obilježje s hidrogeološkom funkcijom zamijećeno na terenu, a prikazano na karti kružićem unutar kojeg je slovo x. Uz vrtače prikazana je i pozicija registriranih špilja i jama (Slika.6.3.), koji ujedno povremeno imaju hidrogeološku funkciju ponora (sporedni ponori koji se aktiviraju za velikih voda).



a)

b)

Slika 6.2. Vrtače pokraj ponora (a) i u krednim vapnencima (b)



a)

b)

Slika 6.3. Speleološki oblici na području istraživanja: a) špilja, b) jama

6.2. GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Na više izdanaka uz cestu te na izdancima oko Kordića Žumberačkih, izmjereni su smjer i kut nagiba sloja ili smjer pružanja slojeva. Također je na izdancima na terenu razmotren slijed naslaga. Vapnenačke sekvence očituju se pojavom izdanaka i krških pojava, dok su flišolike prekrivene debljim slojem ilovastog tla nastalog trošenjem temeljnih flišolikih stijena i moguće ih je jasno uočiti samo na usjecima pokraj puteva.

Ustanovljeno je da naslage uglavnom čine tanki slojevi (debljine nekoliko centimetara), tek povremeno nešto debljih u gornjem dijelu (do oko 50 cm). Na terenu se izmjenjuju uglavnom tankoslojeviti vapnenci uz koje dolaze i proslojci i leće rožnjaka uglavnom u gornjem dijelu jedinice, sa flišolikim sekvencama, gdje su u izmjeni najzastupljeniji glinoviti i laporoviti vapnenci i lapor (slika 6.4.). Unutar flišolikih jedinica pojavljuju se breče u obliku leća debljine veće od 50 cm (slika 6.4., b).



a)

b)

Slika 6.4. Tankoslojevite laporovite naslage krednog fliša (a) i leća breče u istim naslagama (b)

Također su zamijećene i prijelazne naslage, odnosno vapnenačko kršje u laporovitom (Slika 6.5. a) ili glinovitim matriksu (Slika 6.5. b).



a)



b)

Slika 6.5. Vapnenačko kršje u: a) laporovitom matriksu s uloškom tankolaminiranog lapora i b) u glinovito – vapnenačkom matriksu i glinoviti vapnenac

Općenito, u svim brečama zrna vapnenaškog krša su uglavnom slabo zaobljena te različitih dimenzija. To ukazuje da njihov transport od ishodišne stijene do mjesta sedimentacije nije bio dug.

Kako je ranije spomenuto, gornji dio jedinice, a sjeverni i sjeveroistočni dio sliva čini jedinica koja se razlikuje od prethodnog dijela krede. Ovdje umjesto pelagičkog razvoja i donosa materijala u bazen dolazi do grebenskog vapnenačkog razvoja. Tako su stijene vapnenačke, a izmjenjuju se tankoslojeviti vapnenci s rožnjacima i deblje uslojeni sivi vapnenci (Slika 6.6. a). Uglavnom na prijelazu iz fliša javljaju se još vapnenačke breče (Slika 6.6. b). Na ovom dijelu uočena je i jača tektonska aktivnost u obliku manjih bora na tankoslojevitim dijelovima naslaga.



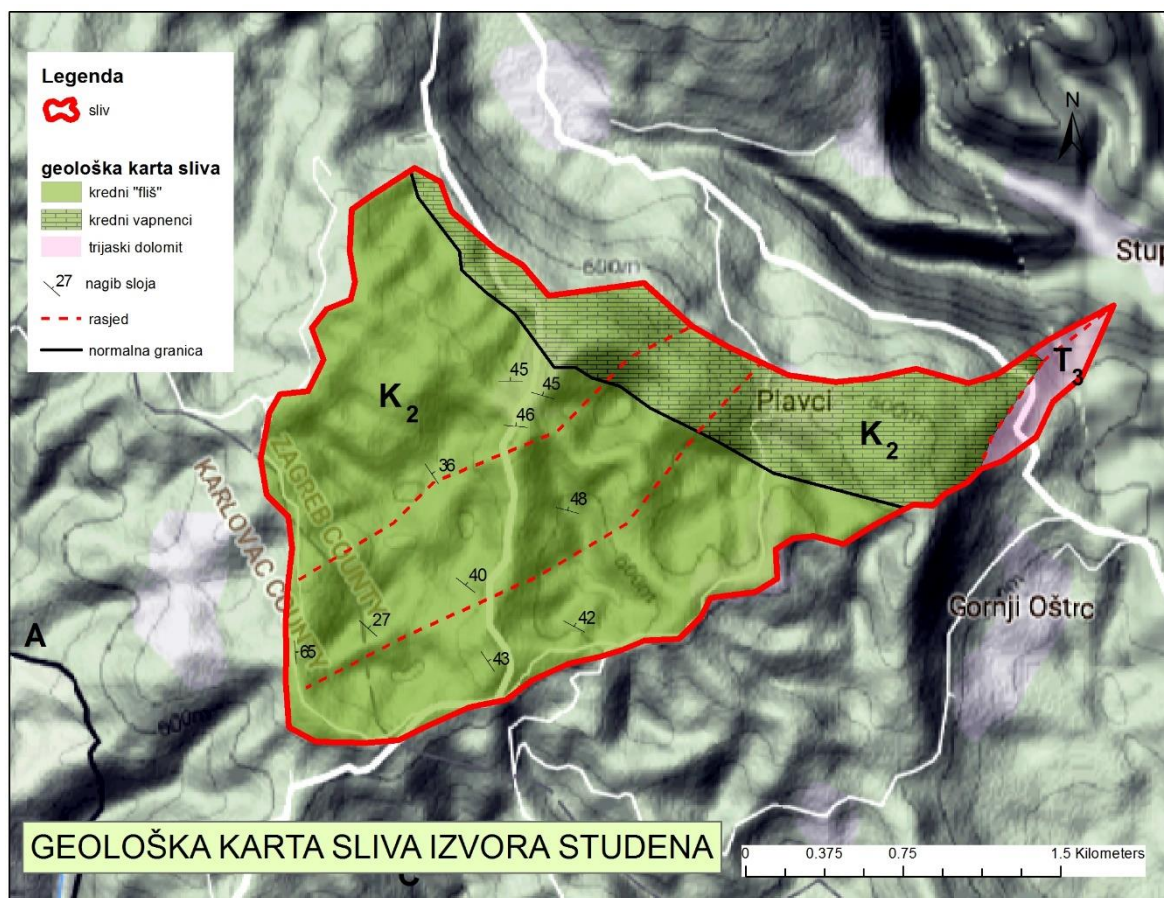
a)



b)

Slika 6.6. Kontakt breče i deblje uslojenih krednih vapnenaca (a) i deblje uslojeni kredni vapnenac

Nakon terenskog istraživanja i prema OGK list Novo Mesto (Pleničar et al., 1975), podaci su obrađeni na računalu, te je u programu ArcGIS izrađena geološka karta sliva (Slika 6.7.).

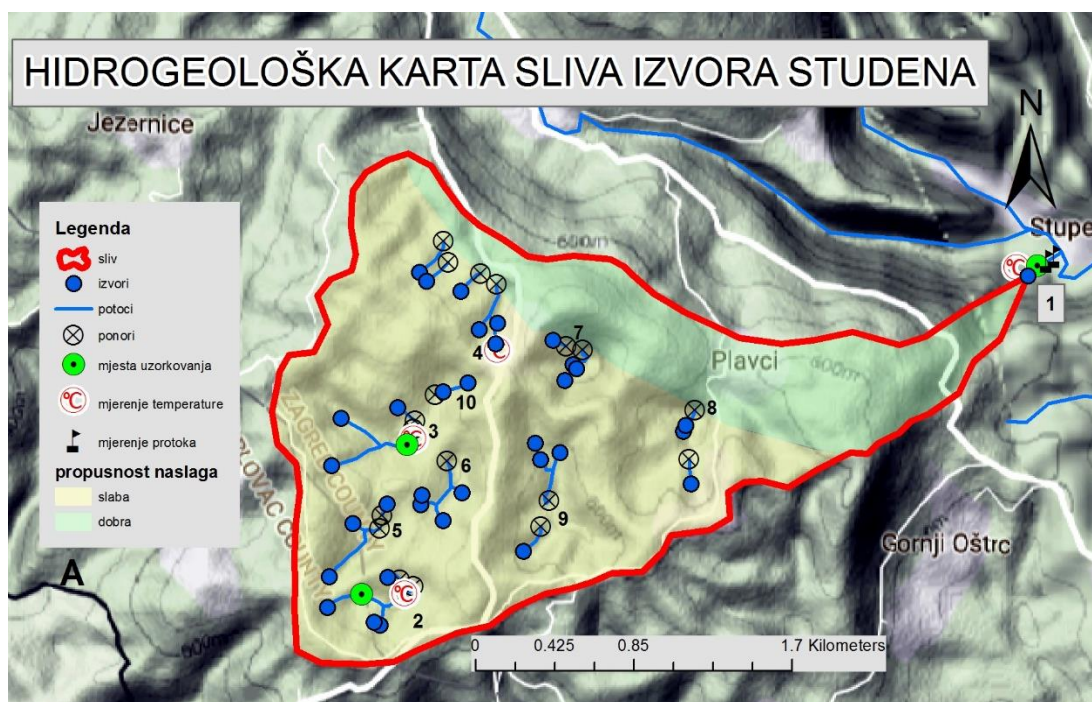


Slika 6.7. Geološka karta sliva: K_2 (zeleno) – kredni fliš, K_2 (zeleno sa šrafurom) – kredni vapnenac, T_3 (rozo) – trijaski glavni dolomit

Na Slici 6.7. su geološke jedinice označene prema starosti naslaga. T_3 označava trijasku starost i područje trijaskih dolomita (rozo). Trijaski dolomiti su slojeviti, sa slojevima različitih nijansi sive boje, najčešće svijetlosivi. Karakterizira ih velika trošnost i raspucanost. Prostor na kojem se nalaze kredne jedinice označen je s K_2 . Pritom je kreda podijeljena na 2 dijela. Kredni fliš obojan je zeleno i čine ga uglavnom tankoslojeviti vapnenci u izmjeni s laporom, laporovitim i glinovitim vapnencima, uz česte pojave brečnih leća. Mrežom pravokutnika na zelenoj podlozi označene su naslage koje se nadovezuju na kredni fliš. Njih čine tanko do srednje debeli slojevi vapnenca, koji u sebi često sadrže uklopke ili leće, ponekad i proslojke rožnjaka.

6.3. HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Tijekom istraživanja, lokacije izvora, površinskih tokova i ponori ucrtani su na topografskoj podlozi TK 1:25 000 (DGU). Također, označena su mjesta na kojima su vršena pojedina mjerenja i uzorkovanja. Ranije spomenutom obradom tih podataka izrađena je hidrogeološka karta sliva izvora Studena (Slika 6.8.).



Slika 6.8. Hidrogeološka karta sliva izvora Studena

Na karti su plavim kružićima označeni položaji izvora. Plave linije predstavljaju površinske tokove, a kružići s oznakom x mjesta lociranih ponora. Oznakom °C označena su mjesta mjerenja temperature vode, dok zeleni kružić s crnom točkom označava mjesto uzorkovanja. Mjesta gdje je mjeren protok označena su zastavicom. Svim lokacijama dana je oznaka navedenim u Tablici 6.1.

Tablica 6.1. Oznake lokacija mjerenja i uzorkovanja prikazane na Slici 6.8.

oznaka	vrsta	lokacija
1	izvor	Studena
2	izvor	Nikola
3	ponor	Spilja
4	izvor	Jama
5	ponor	Rakovac
6	ponor	Vijenci
7	ponor	Perin
8	ponor	Potok
9	ponor	Okrug
10	izvor	Kordići

Propusnost naslaga prikazana je sjenčanjem i to u dvije boje, žutoj i zelenoj. Propusnost je određena na temelju terenskih istraživanja, te prema ranijim spoznajama (Vujnović, 2010; Frangen, 2013). Žutom bojom su prikazane slabo propusne flišne naslage. Iako su na širem prostoru prostiranja generalno slabo propusne, vapnenački dijelovi u njima dobro su propusni te se u njima javljaju ponori. Također, povećanju propusnosti naslaga na terenu doprinosi i generalno strmi nagib slojeva koji olakšava infiltraciju duž slojnih ploha i pukotina. Zelena boja prikazuje dobro propusne stijene, u koje su uključeni trijaski dolomiti i kredni vapnenci. Trijaski dolomit trošan je i uglavnom međuzrnski porozan. Unutar naslaga krednih vapnenaca razvijena je pukotinska i kavernozna poroznost s izraženim stupnjem okršenosti na površini terena što omogućuje brzu infiltraciju vode u podzemlje.

6.4. IN-SITU MJERENJA I UZORKOVANJE VODE

Obilaskom područja istraživanja, in situ je mjerena temperatura vode i uzeti su uzorci za daljnju analizu.

Temperatura vode mjerena je na tri lokacije unutar sliva te na izvoru Studena. Lokacije mjerenja prikazane su na Slici 6.9. Temperatura je izmjerena u bliskom vremenskom razdoblju, a podaci mjerenja su prikazani u Tablici 6.2.

Prvo mjerenje na lokalitetu sliva obavljeno je 30.9.2016. godine na 600 m n.m. nakon dužeg sušnijeg i toplog razdoblja. Srednja temperatura zraka u tom razdoblju bila je nešto viša od izmjerene temperature vode. Nakon toga došlo je do kraćeg kišnijeg i hladnijeg razdoblja, a

nakon smirivanja vremenske situacije obavljeno je drugo mjerenje u blizini prvog na istoj nadmorskoj visini. Tako je 4.10.2016. godine vrijednost temperature vode iznosila 9,3°C. 16.10. izvršeno je još jedno mjerenje na kaptiranom izvoru zapadno od sela Kordići, a izmjerena temperatura iznosila je 8,9°C. Prema Indir (2017) i voda na izvorima zapadno od sliva sa istom nadmorskom visinom i naslagama slične je temperature. Ona je na izvorima pokraj sela Jezernice izmjerila u istom vremenskom razdoblju temperature od 9,3 i 9,4°C. Može se zaključiti, da je srednja temperatura vode na tom području oko 9°C. Podatak sa Spilje nije razmatran, jer ta vrijednost značajno odstupa od ostalih. Moguće je da je do odstupanja došlo zbog lokacije mjerenja i više temperature zraka. Jedino je ovdje mjerena temperatura u blizini ponora, nakon dužeg sporijeg toka po dolini. Do dodatnog porasta također je moglo doći zbog šumarskih radova i zatrpavanja toka drvnim materijalom koji su dodatno usporili tok, uz znatno višu temperaturu zraka od one pri ostalim mjerenjima.

Tablica 6.2. Rezultati mjerenja temperature vode

oznaka lokacije	lokacija	datum mjerenja	T _{vode} (°C)
3	Spilja	30.9.2016.	12,8
2	Nikola	04.10.2016.	9,3
1	Studena	6.10.2016.	10,2
4	Jama	16.10.2016.	8,9

Temperatura vode na izvoru Studena 6.10.2016. godine iznosila je 10,2°C. Ta temperatura neznatno je viša od vrijednosti temperature vode na izvorima Kupčine koja je prema Indir (2017) 6.10.2016. godine iznosila 10,1°C, dok je Vujnović (2010) identičnu vrijednost zabilježila u otprilike istom razdoblju 2008. godine. To znači da je voda na izvoru Studena koji je na znatno nižoj nadmorskoj visini za oko 1°C više od temperature vode na izvorima u slivu, što je u skladu s prosječnom temperaturom zraka. Ona na području raste sa smanjenjem nadmorske visine i prema klimatskim podacima na području izvora je također 1°C viša od one na prostoru sliva na razini godišnjeg prosjeka.

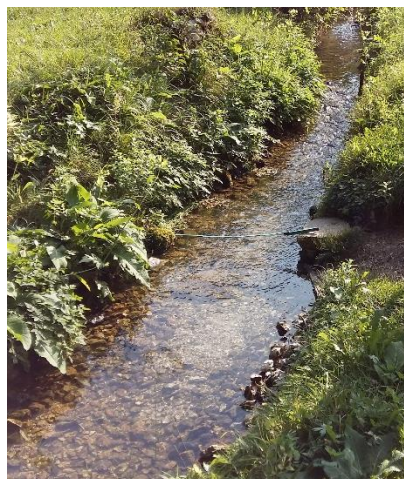
Lokacije sakupljanja uzoraka vode iste su kao i one gdje su mjerene temperature. Poteškoće kod uzimanja uzoraka Nikola i Spilja stvarala je mala količina vode u koritu, koja je ujedno bila i ograničavajući faktor za uzimanje više uzoraka na slivu.

6.5. MJERENJE PROTOKA

Protok je bilo moguće izmjeriti hidrometrijskim krilom jedino na izvoru Studena. Tamo su radi mjerne nesigurnosti izvršena dva mjerenja 10.9.2017. godine na 2 različita profila (Slika 6.9., 6.10. i 6.11.), a rezultati mjerenja prikazani su u Tablicama 6.3., 6.4. i 6.5. Profili su međusobno udaljeni 20 m, s tim da je prvi profil (Slika 6.9.a i 6.10., u daljnjem tekstu označen kao P1) udaljen oko 150 m od samog izvora. Drugi profil (Slika 6.9.b i 6.11., u daljnjem tekstu kao P2) je udaljen od ušća u Kupčinu oko 5 m.

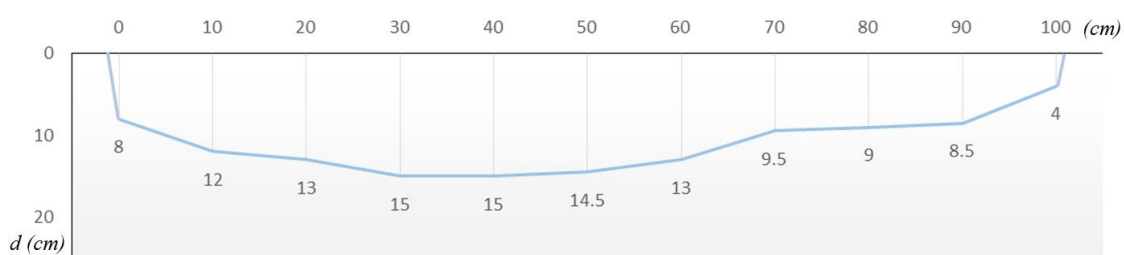


a)



b)

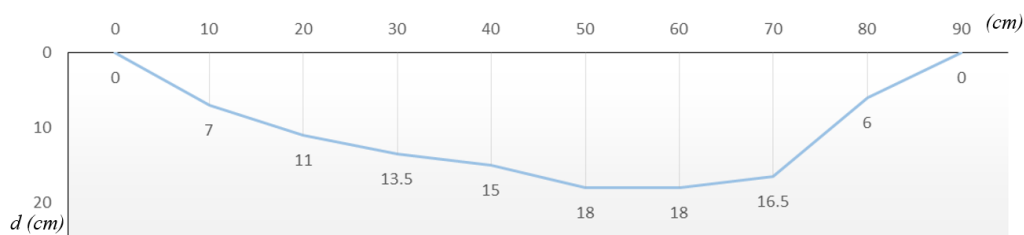
Slika 6.9. Profili mjerenja izdašnosti izvora Studena: a) prva lokacija mjerenja i profil P1 (strelica); b) druga lokacija mjerenja i profil P2 (metar)



Slika 6.10. Profil mjerenja protoka izvora Studena P1

Tablica 6.3. Izračun količine protoka metodom brzina – površina izvora Studena na P1 sa tri mjerenja u vertikali

d (cm)	P_d (-)	P_s (-)	P_p (-)	P_{sred} (-)	n (s⁻¹)	v (m/s)	A (m²)	q (l/s)
8	0	-	2	1	0,033	0,000	0,005	0,084
12	1	3	5	3	0,100	0,037	0,011	0,417
13	10	15	22	15,667	0,522	0,141	0,013	1,874
15	11	20	26	19	0,633	0,169	0,015	2,449
15	23	30	35	29,333	0,978	0,254	0,015	3,780
14,5	15	27	42	28	0,933	0,243	0,014	3,464
13	17	25	38	26,667	0,889	0,232	0,013	2,902
9,5	9	12	15	12	0,400	0,111	0,010	1,140
9	13	20	25	19,333	0,644	0,172	0,009	1,545
8,5	23	28	34	28,333	0,944	0,246	0,008	1,844
4	-	14	-	14	0,467	0,128	0,004	0,665
							Q=	20,164



Slika 6.11. Profil mjerenja P2

Tablica 6.4. Izračun količine protoka metodom brzina - površina na profilu P2 sa 3 mjerenja u vertikali

d (cm)	P_d (-)	P_s (-)	P_p (-)	P_{sred} (-)	n (-)	v (m/s)	A (m²)	q (l/s)
0	0	0	0	0,000	0,000	0,012	0,001	0,049
7	10	-	11	10,500	0,350	0,099	0,006	0,618
11	10	11	11	10,667	0,356	0,100	0,011	1,065
13,5	11	11	11	11,000	0,367	0,103	0,013	1,364
15	17	16	15	16,000	0,533	0,144	0,015	2,217
18	22	17	29	22,667	0,756	0,199	0,017	3,435
18	32	31	47	36,667	1,222	0,315	0,018	5,544
16,5	37	33	34	34,667	1,156	0,298	0,014	4,247
6	10	10	11	10,333	0,344	0,097	0,007	0,695
0	0	0	0	0,000	0,000	0,012	0,001	0,041
							Q=	19,275

Tablica 6.5. Izračun protoka na profilu P2 metodom brzina – površina s jednim mjerenjem u vertikali (0,6 d)

d (cm)	P_{0,6 d}	n	v (m/s)	A (m²)	q (l/s)
0	0	0,000	0,012	0,001	0,047
7	10	0,333	0,095	0,006	0,592
11	10,5	0,350	0,099	0,011	1,050
13,5	11	0,367	0,103	0,013	1,364
15	13	0,433	0,119	0,015	1,837
18	17	0,567	0,152	0,017	2,630
18	31	1,033	0,268	0,018	4,721
16,5	37	1,233	0,317	0,014	4,522
6	10	0,333	0,095	0,007	0,675
0	0	0,000	0,012	0,001	0,040
				Q=	17,477

Rezultati iz prve dvije tablice (Tablica 6.3. i Tablica 6.4.) dobiveni su na 2 različita profila. Brzina je mjerena na dnu, sredini i površini vode u koritu. Smjer toka je prema sjeveroistoku.

Izmjerena je širina toka te je određen razmak između okomica mjerenja od 10 cm. Zatim je izmjerena dubine vode. Maksimalna dubina vode u prvom profilu iznosi 15 cm dok je voda kod drugog profila nešto dublja s maksimalnom dubinom 18 cm.

Na svakoj okomici prvo su izmjerene dubine na dnu. Zatim su mjerene brzine na površini te potom one u sredini toka. Brzine na P2 nešto su veće zbog malo manjeg presjeka toka. Općenito, prosječna brzina u presjeku toka na P2 je većeg iznosa u manjem presjeku te je rezultati mjerenja zadovoljavaju jednadžbu kontinuiteta $Q=A_1 \cdot v_1=A_2 \cdot v_2$.

Srednja brzina toka u okomici izračunata je prema srednjoj vrijednosti mjerenja u tri točke na vertikali.

Na profilu P2 mjerenje brzina u okomicama izvedeno je i metodom mjerenja u jednoj točki na 0,6 dubine od površine.

Dobiveni rezultati količine protoka su slični u prva dva mjerenja s tri točke u vertikali, dok je metodom s jednom mjernom točkom na vertikali na 0,6 d rezultat nešto manji.

Mjerenje protoka ostalih tokova na slivu nije bilo moguće zbog premalih količina vode. Tako su protoci tih potočića uglavnom procijenjeni ispred ulaska u podzemlje, a u jednom slučaju i mjereni posudom poznatog volumena. Protoci su prikazani u tablici 6.4.

Tablica 6.6. Protoci na potocima u slivu

oznaka	lokacija	datum	protok (l/s)
2	Nikola	4.10.2016.	3
3	Spilja	30.9.2016.	2
10	izvor Kordići	30.9.2016.	0,05
5	Rakovac	9.9.2016.	2
6	Vijenci	9.9.2016.	0,2
7	Perin	7.9.2016.	0,65
8	Potok	7.9.2016.	0,3
9	Okraj	8.9.2016.	0,2
4	Jama	5.10.2016.	0,2
-	Ostalo	5.10.2016.	0,3
		Q=	8,91

Najveći protoci zabilježeni su u 3 najveća toka (Spilja, Nikola, Rakovac) na jugozapadnom dijelu sliva u flišnom djelu naslaga. Oni zauzimaju 20% površine sliva te njima protječe oko 80% vode koja ponire. Prema tome, procijenjeno je da trećina vode koja izvire na Studeni dolazi sa ta tri ponora. Općenito se može zaključiti, da gotovo pola iznosa mjerenog protoka na izvoru Studena ponire sa površinskih tokova u slivu, dok se druga polovica vode infiltrira difuzno kroz okršenu površinu u slivu.

7. LABORATORIJSKI REZULTATI

7.1. PH

pH je mjereno izravnim uranjanjem sonde u bocu s uzorkom (Slika 5.1).

pH vrijednosti izmjerene na uzorcima vode prikazane su u Tablici (7.1.).

Tablica 7.1. Izmjerene pH vrijednosti

oznaka	lokacija	datum uzorkovanja	datum mjerenja	pH
3	Spilja	30.9.2016.	2.11.2016.	7,7
2	Nikola	04.10.2016.		8,0
1	Studena	6.10.2016.		7,5

Općenito, voda je povišene pH vrijednosti što je i karakteristično za krške vodonosnike, a kod sva tri rezultata nema značajnijeg međusobnog odstupanja.

7.2. ELEKTROVODLJIVOST

Elektrovodljivost je također mjerena izravnim uranjanjem sonde u bocu s uzorkom (Slika 5.2). Izmjerene vrijednosti elektrovodljivosti prikazane su u tablici 7.2.

Tablica 7.2 Vrijednosti elektrovodljivosti izmjerene na uzorcima u laboratoriju

oznaka	lokacija	datum uzorkovanja	datum mjerenja	elektrovodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
3	Spilja	30.9.2016.	2.11.2016.	464
2	Nikola	04.10.2016.		416
1	Studena	6.10.2016.		420

Sva tri uzorka dala su slične rezultate elektrovodljivosti, što govori da je voda u pretpostavljenom slivu i glavnom izvoru sličnog kemijskog sastava.

7.3. ALKALITET VODE

Alkalitet vode napravljen je u laboratoriju prema uputama opisanim u poglavlju 5.3.

U erlenmayerovu tikvicu odliveno je pomoću menzure 100 ml vode uzorka. Nakon toga, dodano je 0,05 ml metil oranža. Uzorak sa zatim titrira HCl-om iz pipete koja prije titriranja treba biti napunjena do razine 0. HCl se pušta kap po kap u uzorak uz istovremeno mješanje (Slika 7.1), do prve primjetne pojave boje. Odmah po promjeni boje zatvori se pipa na pipeti te se očita utrošak HCl-a. Očitane vrijednosti prikazane su u Tablici 7.3.

Tablica 7.3. Utrošak HCl-a na 100 ml uzorka.

oznaka	lokacija	datum uzorkovanja	datum mjerenja	utrošak HCl (ml)
3	Spilja	30.9.2016.	2.11.	4.75
2	Nikola	04.10.2016.	2.11.	4.2
1	Studena	6.10.2016.	2.11.	4.2



Slika 7.1. Postupak titracije

Prema utrošku HCl-a izračunata je koncentracija hidrogenkarbonata u mg/l (Tablica 7.4.).

Tablica 7.4. Koncentracija hidrogenkarbonata (HCO_3^-) u uzorcima u mg/l

oznaka	lokacija	HCO_3^- (mg/l)
1	Studena	271,9
2	Nikola	271,9
3	Spilja	307,51

Koncentracije HCO_3^- korištene su u analizi hidrogeokemijskog facijesa u potpoglavlju 7.5.

7.4. IONSKA KROMATOGRAFIJA

Postupak određivanja ionskog sastava uzoraka vode počinje otvaranjem ventila za boci za dovod helija. Zatim se pali računalo spojeno na ionski kromatograf te se pokreće program za upravljanje naziva Cromeleon. Prekidačem se pokreću 2 ionska kromatografa. Nakon toga potrebno je pričekati da sustav postigne optimalan tlak da bi se mjerenja mogla pravilno izvesti.

Za to vrijeme potrebno je pripremiti uzorke za ispitivanje. Iz uzorka vode, potrebno je ukloniti sve nečistoće, a za to se koristi filter. Filtrira se tako da se špricom od 1 ml zahvati uzorak te ga se istisne kroz filter u posudicu s oznakom uzorka. Nakon filtriranja, potrebno je špricu isprati demineraliziranom vodom. Zatim se iz posudice ponovno zahvati filtriranu vodu u špricu koja je tada spremna za ubrizgavanje u ionski kromatograf.

Kada je uređaj spreman za mjerenje, potrebno je špricom u kromatograf utisnuti uzorak vode, te kromatograf pokrenuti računalnim programom. Nakon nekoliko minuta, postupak ispitivanja je gotov, a rezultati se pohranjuju na računalu.

Rezultati ionske kromatografije koja je provedena na uzorcima vode prikazani su u Tablici (7.5).

Tablica 7.5. Rezultati ionske kromatografije

oznaka uzorka	lokacija	datum uzorkovanja	datum mjerenja	Na ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
1	Studena	6.10. 2016.	2.11.2016.	2,38	15,62	64,63	0,99	2,15	1,52
2	Nikola	4.10. 2016		5,82	3,18	81,34	1,61	2,74	1,41
3	Špilja	30.9.2016.		3,88	4,46	91,91	1,85	1,17	2,36

Rezultati pokazuju da ne postoji značajnije odstupanje u ionskom sastavu osim u sadržaju magnezija i kalcija. Tako je sadržaj magnezija veći na izvoru Studena od sadržaja u uzorcima sa sliva. Također, izvori u slivu sadrže više kalcija po litri u odnosu na izvor Studena.

Podaci kemijske analize provjereni su izračunom ravnoteže odnosno razlike sume aniona i kationa prikazane u Tablici 7.6.

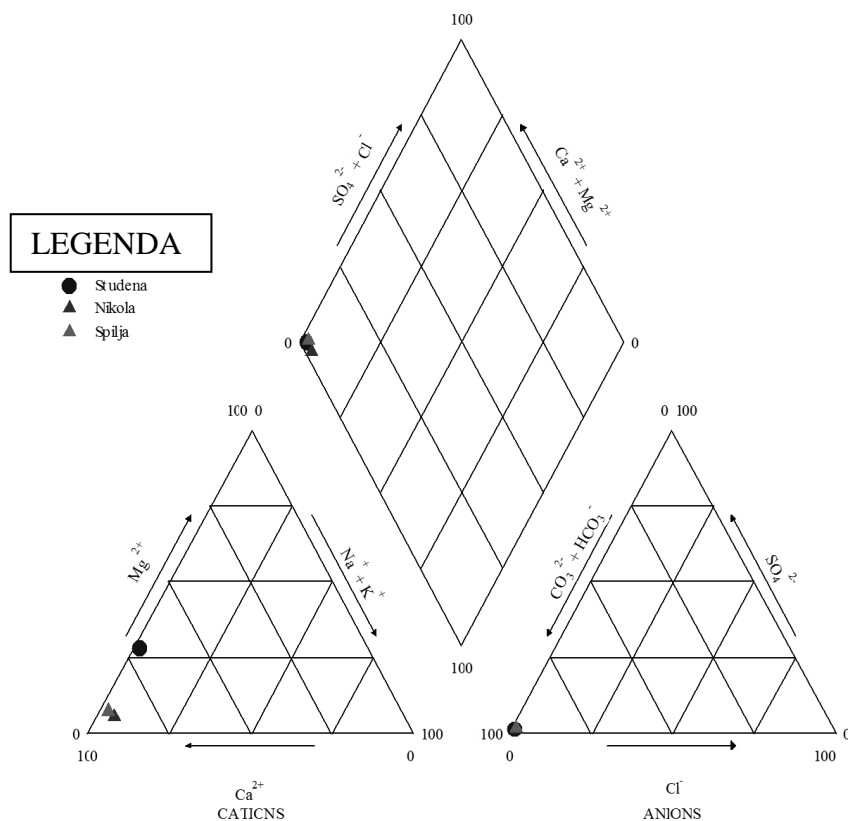
Tablica 7.6. Izračun kemijske ravnoteže na temelju dobivenih koncentracija (meq)

Mg ²⁺ (meq)	Ca ²⁺ (meq)	Cl ⁻ (meq)	NO ₃ ⁻ (meq)	SO ₄ ²⁻ (meq)	Na ⁺ (meq)	HCO ₃ ⁻ (meq)	Σ aniona (meq)	Σ kationi (meq)	Δ (meq)
1,29	3,23	0,03	0,03	0,03	0,10	4,46	4,62	4,55	0,07
0,26	4,07	0,05	0,04	0,03	0,25	4,46	4,58	4,58	0,01
0,37	4,60	0,05	0,02	0,05	0,17	5,04	5,13	5,16	-0,03

Koncentracije aniona i kationa dobivenih kemijskom analizom preračunate su u miliekvivalente (meq). Sumirani su svi kationi i svi anioni, te izračunata njihova razlika (Δ). Razlika (Δ) predstavlja točnost kemijske analize, i trebala bi biti 0 prema načelu kemijske ravnoteže. Ona je prema izračunu približno 0 što pokazuje da je kemijska analiza aniona i kationa dobro odrađena.

7.5. HIDROGEOKEMIJSKI SASTAV VODE

U uzorcima određene koncentracije kationa (Na⁺, Mg²⁺ i Ca²⁺) i aniona (Cl⁻, SO₄²⁻ i HCO₃⁻) prikazane su grafički Piperovim dijagramom pomoću USGS-ovog besplatnog programa GW Chart. Osnovni sadržaj kationa i aniona svih ispitanih uzoraka prikazan je na slici 7.2. U hidrogeokemiji se voda dijeli na vodne facijese koje određuju otopljeni kationi i anioni. S obzirom na katione dijeli se na: kalcijske, magnezijske i natrijske, a prema anionima na: hidrogenkarbonatne, kloridne i sulfatne facijese.



Slika 7.2. Prikaz rezultata kemijske analize na Piperovom dijagramu

Promatrajući rezultate kationa sa slike 7.2 vidljivo je da vode u sva tri uzorka pripadaju kalcijском tipu. Pritom, udio magnezija nešto je veći na izvoru Studena. S druge strane, anioni u svim uzorcima pripadaju hidrogenkarbonatnom tipu. Može se zaključiti da svi analizirani uzorci pripadaju hidrogenkarbonatnom facijesu, ali s različitim omjerima kalcija i magnezija. Udio kalcija veći je na uzorcima zahvaćenim na slivu i te su vode izrazito Ca tipa.

Također, kemizam vode omogućuje donošenje zaključaka o litološkim značajkama naslaga kroz koje voda prolazi, odnosno o porijeklu vode i dominantnim vodonosnicima unutar sliva. Antunović (1995) prema Fourmarieru krške vode dijeli prema sadržaju magnezija (Tablica 7.7.). Iz Piperovog dijagrama lako se odredi udio Mg (%) u uzorcima vode.

Tablica 7.7. Klasifikacija vode prema sadržaju magnezija

Skupina	Sadržaj Mg u vodi	Porijeklo vode
1	0,0% do 7,5%	čisti vapnenac
2	7,5% do 12,5%	magnezijski vapnenac
3	12,5% do 25,0%	dolomitični vapnenac
4	25,0% do 37,5%	vapnenački dolomit
5	37,5% do 42,5%	kalcijski dolomit
6	42,5% do 50,0%	čisti dolomit

Uzorak sa izvora Nikola (2) s udjelom Mg od 5,5 % i potok Spilja (3) sa 7,1 % spadaju u prvu skupinu što znači da je porijeklo tih voda iz čistog vapnenca, što je u skladu s rezultatima terenskih opažanja prema kojima su na području sliva uočene isključivo vapnenačke naslage. Uzorak vode s izvora Studena sadrži 27,7 % i spada u 4. skupinu te prema tablici dolaze iz dolomitičnog vapnenca. Ipak, prema prethodnim rezultatima može se zaključiti da povećani udio magnezija dolazi zbog dolomitne podloge vodonosnika.

8. PROCJENA VODNE BILANCE SLIVA

Prema, za ovu priliku, prilagođenoj jednadžbi vodne bilance (3.1) izračunati su mogući scenariji vodne bilance u ovisnosti o koeficijentu otjecanja i istjecanju na izvoru. U jednadžbu (3.1) za ovu priliku nisu uključeni sljedeći parametri:

K - kondenzirana vlaga;

D1 - površinski dotok vode;

D2 – podzemni dotok vode;

R – umjetni dovod vode (vodovodi, kanali) iz drugih slivova;

E1 – evaporacija s otvorenih vodenih površina;

E2 - isparavanje s površine tla i transpiracija;

S1 – površinsko otjecanje;

S2 – podzemno otjecanje;

N1 – umjetni odvod vode u druge slivove (vodovodi, kanali)

N2 – potrošnja vode unutar sliva

Kondenzirana vlaga (K) uglavnom je teško mjerljiva jer ovisi o vrlo specifičnim uvjetima, a i sama njezina pojava u smislu ulaza vode na sliv nije značajna te je K određen kao 0. Površinskih dotoka na sliv nema, a mogući podzemni dotok je nepoznat, te u ovom izračunu nije uzet u obzir. Na prostoru istraživanja također nema ni umjetnog dovoda vode.

Vrijednosti E1 i E2 zamijenjene su s koeficijentom otjecanja c . Prosječni otjecajni koeficijent c , definiran je kao odnos efektivne (otječe sa sliva) i bruto oborine (padne na sliv). Dakle, to je postotak otjecanja u odnosu na bruto količinu oborine koja padne na neko slivno područje.

Površinsko (S1) i podzemno (S2) istjecanje uzeto je zajedno kao istjecanje na izvoru Studena. Na području također ne postoji umjetni odvod vode u druge slivove (N1) kao ni potrošnja vode (N2) budući da se radi o uglavnom nenaseljenom prostoru.

Redukcijom parametara opće vodne jednadžbe dobivena je jednadžba za bilanciranje na temelju otjecajnog koeficijenta, koja glasi:

$$c \cdot P \cdot A = Q \cdot T \quad (8.1)$$

gdje je

Q – srednji protok u vremenu (m^3/s),

T – vrijeme (s),

P – godišnja oborina (m),

A – površina sliva (m^2).

Prema Magdalenić i dr. (1992.) prosječni otjecajni koeficijent za flišne terene kreće se od 0,30 do 0,40, sa srednjom vrijednošću $c = 0,35$. Kod okršanih terena on je znatno veći, te se kreće od 0,50 do 0,70, sa srednjom vrijednošću od $c = 0,60$.

Za područje sliva izračunat je otjecajni koeficijent sliva ovisno o srednjem godišnjem protoku na izvoru Studena uz pretpostavljenu (temeljem geoloških i hidrogeoloških odnosa) veličinu sliva A (tablica 8.1). Vrijednost prosječne oborine za istraživano područje uzeta je s obližnje klimatološke postaje Sošice, a na temelju prosjeka godišnjih oborina u razdoblju 2010. – 2015. godine koji iznosi 1340 mm. U idućoj tablici (8.2) prikazan je proračun koeficijenta otjecanja za različite vrijednosti srednjeg godišnjeg protoka Q (m^3/s) izvora Studena.

Tablica 8.1. Otjecajni koeficijent sliva izvora Studena ovisno o protoku Q

Q (m^3/s)	P (m)	A (m^2)	T (s)	c
0,03	1,34	5427600	31540000	0,13
0,04				0,18
0,05				0,22
0,06				0,27
0,07				0,31
0,08				0,36
0,09				0,40
0,10				0,45
0,11				0,49
0,12				0,54

Obzirom na značajke istraživanih područja može se očekivati koeficijent otjecanja između vrijednosti 0,3 i 0,5, te je za te vrijednosti proveden proračun za različite količine istjecanja s ciljem određivanja teoretske površine sliva izvora Studena (tablica 8.2) i njenom usporedbom sa prethodno određenom površinom temeljem geoloških i hidrogeoloških odnosa na terenu.

Tablica 8.2. Proračun teoretske površine sliva uz pretpostavljene koeficijente otjecanja i količine istjecanja na izvoru Studena

c	P (m)	T (s)	Q (m ³ /s)	A _{prorač.} (km ²)	A _{proc.} (km ²)	ΔA (km ²)
0,3	1,3	31540000	0,04	3,23487	5,4276	-2,1927
			0,05	4,04359		-1,384
			0,06	4,85231		-0,5753
			0,07	5,66103		0,23343
			0,08	6,46974		1,04214
			0,09	7,27846		1,85086
0,4	1,3	31540000	0,06	3,63923	5,4276	-1,7884
			0,07	4,24577		-1,1818
			0,08	4,85231		-0,5753
			0,09	5,45885		0,03125
			0,1	6,06538		0,63778
			0,11	6,67192		1,24432
			0,12	7,27846		1,85086
0,5	1,3	31540000	0,08	3,88185	5,4276	-1,5458
			0,09	4,36708		-1,0605
			0,1	4,85231		-0,5753
			0,11	5,33754		-0,0901
			0,12	5,82277		0,39517
			0,13	6,308		0,8804
			0,14	6,79323		1,36563

Prema proračunu iz tablice 8.2, vidljivo je da je uz koeficijent otjecanja 0,3 očekivana količina istjecanja tek nešto manja od 70 l/s. Koeficijent otjecanja 0,4 daje gotovo 90 l/s dok s koeficijentom 0,5 dolazimo do količine od gotovo 110 l/s. Prema svim razmatranjima iz ovog istraživanja, može se reći da je vrijednost srednjeg godišnjeg protoka oko 80 l/s. Uz koeficijent otjecanja $c=0,3$, prosječnu godišnju oborinu od 1300 mm i procijenjeni protok od 80 l/s, površina sliva trebala bi biti za oko 1 km² veća od procijenjene. Za iste uvjete pri koeficijentu otjecanja $c=0,4$ procijenjena i proračunata površina su podjednake (ΔA približno 0) te se vrijednost $c=0,4$ otjecajnog koeficijenta sliva može smatrati odgovarajućim uz predpostavljenu površinu 5,4 km². U tablici 8.2 je prikazan i proračun za koeficijent $c=0,5$ prema kojem je uz prosječne oborine 1,3 m istjecanje preveliko, odnosno površina sliva bi trebala biti veća za oko 1,5 km² od procijenjenog.

9. ZAKLJUČAK

Terenskim istraživanjem područja sliva te obradom prikupljenih podataka doneseno je nekoliko zaključaka o fizikalnim značajkama područja.

Teren se proteže prostorom oko 5,5 km² na prostoru oko sela Kordići, a počevši od oko 2 km južnije od većeg naselja Sošice. Trokutastog je oblika, a nadmorska visina sliva kreće se u rasponu od 500 do 700 m n.m. Najniža točka sliva je izvor Studena na nadmorskoj visini 265 m n.m. pokraj naselja Stupe.

Sliv je visoravan koja je morfološki vrlo neravna, s brojnim dubokim dolinama strmih padina. Doline su kratke, uglavnom 100-njak metara i generalno orijentacije jugozapad – sjeveroistok. Prekrivene su aluvijalnim nanosima donesenima za vrijeme jakih kiša. Na okolnom području izdanjuju karbonatne stijene pretežito vapnenačkog sastava. Područja laporovitih i glinovitih vapnenaca unatoč nepovoljnom reljefu prekrivene su debljim slojem naslaga tla, dok su stijene dominantnije vapnenačkog sastava prisutne na površini ili prekrivene tanjim slojem tla. U skladu s tim, razvio se krški reljef sa svim svojim karakteristikama. Najdominantnije od njih su izvori i ponori na početku, odnosno kraju većine dolina, te vrtače razvijene oko ponornih zona u dolinama, ali i na okolnim brdima.

Izvori su tipični krški, i javljaju se na kontaktu vapnenaca ili breča s manje propusnim laporovito i glinovito vapnenačkim naslagama. Bazni tokovi su male izdašnosti, te su izvori tada kapaciteta uglavnom do 0,5 l/s. Budući da su zaleđa izvora najčešće s dobro razvijenim krškim reljefom velike propusnosti, reakcija na izvoru je brza i za jakih kiša dolazi do naglih povećanja izdašnosti. Količina istjecanja se tada na izvorima poveća višestruko. Veliki nagibi i deblji sloj tla na padinama dolina potoka onemogućavaju značajniju infiltraciju vode u podzemlje te se voda brzo slijeva u dolinu, donoseći sa sobom suspendirani nanos.

Na kraju doline vodotoci dolaze do visoke karbonatne barijere, u kojoj su razvijeni ponori ograničenog kapaciteta. Uz glavni, ujedno i stalni ponor baznog toka, u blizini najčešće postoji još barem jedan pomoćni koji se aktivira za vrijeme velikih voda. Jedan od takvih ponora je i špilja podno naselja Kordići, a uz koju se nalazi još nekoliko povremenih ponora sveukupno ponekad nedovoljnog kapaciteta za distribuciju velikih voda u podzemlje.

Voda u vodotocima u slivu, temperature je na izvorima otprilike slične onoj srednjoj temperaturi zraka na tom području. U vrijeme kada temperatura zraka znatno odstupa od srednje godišnje temperature zraka i kada je protok mali, moguć je utjecaj na dulje površinske tokove. Tada je moguća značajnija razlika u temperaturi vode na izvoru i ponoru. Kemijski sastav vode ovdje je izrazito Ca tipa, što je u skladu s karbonatnom građom prostora. Na izvoru Studena kemijski dolazi do razrjeđenja, odnosno povećava se udio Mg, a pada udio Ca. Voda tamo dolazi nakon brzog poniranja i izravne infiltracije kroz karbonatni materijal ili kroz sustav pukotina ograničenog kapaciteta. Kretanje vode u vapnenačkim sekvencama pretpostavljeno je u smjeru pružanja sloja prema jugoistoku te kroz 2 glavna sustava rasjeda, generalnog smjera sjeveroistok – jugozapad. Nakon prolaska kroz karbonatne naslage dolazi do temeljne nepropusne stijene, koja je u ovom slučaju prema kemijskom sastavu vode, pretpostavljeno dolomit (trijas). Budući da jedan dio vode za vrijeme jakih oborina brzo dolazi do nepropusne podloge, u toj vodi koja tada napaja vodonosnik značajno je manji udio otopljenog kalcija, a zadržavanjem vode u dolomitu dolazi do otapanja i povećanja udjela magnezija.

Izvor Studena nalazi se podno strme litice jako istrošenih trijaskih dolomita. Prema OGK Novo Mesto i terenskog istraživanja, pretpostavka je da se izvor nalazi na sjecištu 2 rasjeda. Izvor je koncentriran s izlazom u jednoj točki. Dalje se nastavlja kratki tok duljine oko 200 m prema Kupčini, koji je kanaliziran s dimenzijama visine i širine približno 1 m. Na samom izvoru i toku nisu zamijećeni tragovi ekstremnog povećanja istjecanja kao na izvorima u slivu. Temperatura vode je malo viša nego na izvorima u slivu, zbog niže nadmorske visine na koju se veže viša prosječna temperatura zraka. Uz povećani udio Mg, to također potvrđuje dulje zadržavanje vode u predistjecajnom dolomitnom prostoru za vrijeme niskog protoka.

Vodna bilanca uz pretpostavku koeficijenta otjecanja za fliško-kršne terene $c=0,4$ pokazuje da je površina sliva relativno točno procijenjena.

10. LITERATURA

ANTUNOVIĆ, I. (1995): Utvrđivanje dinamike podzemnih voda u kršu. Seminarski rad, PMF, Zagreb.

BOGNAR, A. (2001): Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. *Acta Geographica Croatica*, Vol. 34 (1999), Zagreb, pp. 7-29.

BRKIĆ, Ž., KUHTA, M., SINGER, D. (2002): Geološka i hidrogeološka osnova Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“. Fond stručne dokumentacije Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“, Slani Dol.

BUKOVAC, J., GRGASOVIĆ, T., GLOVACKI JERNEJ, Ž., JERINIĆ, G., GALOVIĆ, I., PRTOLJAN, B. (1995): Litostratigrafska raščlamba dolomitnih naslaga trijasa jugozapadnog Žumberka u okviru radova na geološkoj karti Republike Hrvatske 1:50.000. Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa Opatija, Zagreb, pp. 137-143.

BUZJAK, N. (2006): Geomorfološke i speleomorfološke značajke Žumberačke gore i geoeколошко vrednovanje endokrškog reljefa. Disertacija, PMF, Sveučilište u Zagrebu.

CSONTOS, L., NAGYMAROSY, A. (1998): The Mid-Hungarian line: a zone of repeated tectonic inversions. Eötvösh University Budapest, Department of Geology, Múzeum krt 4/a, H-1088 Budapest, Hungary.

CVETKOVIĆ, A. (2007): Geološko kartiranje (1:10 000) i strukturna analiza u zoni kontakta trijaskih i gornjokrednih naslaga područja Visoče u JZ Žumberku. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb

DEVIDE - NEDELA, D., BABIĆ, LJ., ZUPANIĆ, J. (1982): Mastrihtska starost fliša Vivodine u Žumberku i kod Ozlja (zapadna Hrvatska) na temelju planktonskih foraminifera. *Geol. Vjesnik*, Vol. 35, Zagreb, pp. 21-36.

DUJMOVIĆ, I. (1994): Geomorfološke osobine sjeveroistočnog dijela Žumberačke gore. Magistarski rad, PMF, Sveučilište u Zagrebu.

ESRI (2010): ArcGIS, ArcEditor, verzija 10.2.2

FORD, D.C. (1967): Sinking Creeks of Mt. Tupper: A remarkable groundwater system in Glacier National Park, B.C.: Canadian Geographer, v. 11, p. 49-52.

FRANGEN, T. (2013): Određivanje značajki krškoga vodonosnika na području jugozapadnog Žumberka kvantitativnim trasiranjem u različitim hidrološkim uvjetima. Doktorski rad, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb.

GALE, S.J. (1984): The hydraulics of conduit flow in carbonate aquifers: Journal of Hydrology, v. 70, p. 309-327.

HERAK, M., BUKOVAC, J. (1988): Tektonsko okno Duralije u Žumberku. Geol. Vjesnik, 41, Zagreb, pp. 231-236.

HERAK, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides. Acta Geologica, 16/1, (Prirod. str. JAZU 53), Zagreb, pp. 1-42.

HERAK, M. (1991): Dinaridi-mobilistički osvrt na genezu i strukturu. Acta Geologica, 21/2, (Prirodoslovna istraživanja, 63), Zagreb, pp. 1-83 (35-117).

HERAK, M. (1999): Tectonic Interrelation of the Dinarides and the Southern Alps. Geologia Croatica, Vol. 52/1, Zagreb, pp. 83-98.

HŠD (1999): Šumarski list. Znanstveno stručno glasilo Hrvatskog šumarskog društva, list 7 – 8/1999, str. 78., Zagreb.

INDIR (2017.): Sliv izvora Kupčine. Diplomski rad, RGNF, Zagreb.

KRALJ, I. (2015): Petrološke i geokemijske značajke izvorišta potoka Šiškinovca na Plješevici. Diplomski rad, RGNF, Zagreb.

MAGDALENIĆ A., BONACCI, O., VAZDAR, T., BARIĆ, R., HLEVNJAK, B., B. TOMIĆ (1992): Sliv izvora Sv. Ivan u Istri: zone sanitarne zaštite. Hidrogeološka i hidrološka studija, RGNF, Zagreb.

MIOČ, P., PAMIĆ, J. (2002): The continuation of the Internal Dinaridic units in the transitional area between the easternmost periadriatic line and the northernmost southern Alps in Slovenia. Geol. Carpathica, 53. Proceedings of the XVII Congress of Carpathian-Balkan Geological Association, Bratislava, Slovakia.

MOLVAREC, L. (2007): Geološki odnosi i strukturna analiza u zoni kontakta trijaskih i gornjokrednih naslaga područja Bučari u JZ Žumberku. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.

PAMIĆ, J., TOMLJENović, B. (1998): Basic geologic data from the Croatian part of the Zagorje-Mid-Transdanubian Zone. -Acta Geologica Hungarica, 41/4, Budapest, pp. 389-400.

PARLOV, J. (2016): Hidrogeologija krša: radna verzija skripte za akademsku godinu 2016/2017, RGNF, Zagreb

PLENIČAR, M., PREMUR, U. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ ,1:100.000, Tolmač za list Novo Mesto L 33-79, Geološki zavod Ljubljana, Savezni geološki zavod Beograd.

PLENIČAR, M., PREMUR, U., HERAK, M. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, list Novo Mesto, L33-79, Geološki zavod Ljubljana, Savezni geološki zavod Beograd.

PRTOLJAN, B. (2001): Relations of thrust-fold and horizontal mechanism of the Mt.Žumberak part of the Sava nappe in northwestern Dinarides, West Croatia. Acta Geologica Hungarica, Vol. 44/1, Budapest, pp. 67-80.

PUSTAJ, G., KAPOR, F. (2015): Kemizam i obradba vode. Interna skripta, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb.

SALOPEK, M., (1912): O srednjem trijasu Gregurić brijega u Samoborskoj gori i o njegovoj fauni. Djela JAZU, 20, Zagreb, pp. 1-34.

SCHUSTER, E.T., WHITE, W.B. (1971): Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: A possible means for characterizing carbonate aquifers: Journal of Hydrology, v. 14, p. 93-128.

ŠARIN, A. (1988): Upute za izradu Osnovne hidrogeološke karte Jugoslavije, M 1:100.000. Drugo, izmijenjeno i dopunjeno izdanje. Savezni geološki zavod, Beograd.

ŠIKIĆ, D., PRELOGOVIĆ, E. (1970): O tektonskim pokretima u Žumberačkoj i Samoborskoj gori. 7. Kongres geologa SFRJ, 1, Zagreb.

TOMLJENOVIĆ, B. (2000): Middle Miocene extension at the south-western corner of the Pannonian Basin: surface data on faults and paleo-stress field. Rom J Tecton Geol 77 Europrobe Abstr vol, p 28.

TOMLJENOVIĆ, B., CSONTOS, L. (2001): Neogene-Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac Basins, Croatia). Int J Earth Sciences (Geol Rundsch) 90/560-578.

VANDIKE, J.E. (1982): The effects of the November 1981 liquid fertilizer pipeline break on groundwater in Phelps County, Missouri: Unpublished report on file with Missouri Department of Natural Resources, Division of Geology and Land Survey, 27 p.

VRSAJKO, A. (2008): Geološko kartiranje (1:10 000) i strukturna analiza u zoni kontakta trijaskih i gornjokrednih naslaga područja Duboka Draga u JZ Žumberku. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.

VUJNOVIĆ, T. (2010): Hidrogeološke značajke Park prirode "Žumberak – Samoborsko gorje", Doktorska disertacija, RGNF, Sveučilište u Zagrebu.

ZANINOVIĆ K, GAJIĆ-ČAPKA M, PERČEC TADIĆ M, VUČETIĆ M, MILKOVIĆ J, BAJIĆ A, CINDRIĆ K, CVITAN L, KATUŠIN Z, KAUČIĆ D, LIKSO T, LONČAR E, LONČAR Ž, MIHAJLOVIĆ D, PANDŽIĆ K, PATARČIĆ M, SRNEC L, VUČETIĆ V (2008): Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961-1990., 1971-2000. Zagreb, Državni hidrometeorološki zavod

ŽUGAJ, R. (2000): Hidrologija. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko – geološko - naftni fakultet, Zagreb

WEB IZVORI

DGU (2011): Topografska karta – TK 1:25000. Geoportal DGU, URL: <http://geoportal.dgu.hr> (5.12.2016.)

HYDROKIT: Z6 Pulse Counter. Environmental data acquisition systems & sensors, Engleska. URL: http://www.hydrokit.co.uk/images/accessories/53_lg_s_04ece5afdb.jpg (20.11.2016.)